

**OPTIMIZACIÓN DEL MONITOREO Y CONTROL DE LA INFORMACIÓN
ANALÍTICA DE LA PLANTA DE ACUEDUCTO DE RÍO CAUCA.**

ALEXANDER QUIJANO ZORRILLA

GUILLERMO LEÓN GONZÁLEZ CÓRDOBA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2006**

**OPTIMIZACIÓN DEL MONITOREO Y CONTROL DE LA INFORMACIÓN
ANALÍTICA DE LA PLANTA DE ACUEDUCTO DE RÍO CAUCA.**

ALEXANDER QUIJANO ZORRILLA

GUILLERMO LEÓN GONZÁLEZ CÓRDOBA

**Pasantía para optar al título
De Ingeniero Electrónico**

**Director
OSCAR FERNANDO AGREDO SATIZABAL
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2006**

Nota de Aceptación:

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento con los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Ing. HÉCTOR FABIO ROJAS RODRÍGUEZ

Jurado

Ing. JUAN CARLOS MENA MORENO

Jurado

Santiago de Cali, mayo 18 de 2006

Mi dedicatoria a Dios, mi madre, mi hermano, mi novia y principalmente a mi padre que deseó que fuera un profesional.

Alexander Quijano Zorrilla.

Dedico este proyecto a mis padres, que con su tesón y mano cálida, lograron que un joven del común se convirtiera en profesional.

Guillermo León González Córdoba.

AGRADECIMIENTOS

A las EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI (EMCALI - División de Acueducto) por permitirnos desarrollar este proyecto en sus instalaciones, en especial a los Ingenieros Luís Ángel Tobón, Juan Carlos Ordóñez, Maria Mercedes García, Julio Cesar Trujillo, a los proveedores Antonio Bustos, Fernando Rodríguez, Jairo Vargas y a todos aquellos que de alguna u otra forma se vincularon a la realización de este proyecto; agradecemos su valiosa orientación y amplia colaboración durante el desarrollo de la pasantía.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER	17
3. JUSTIFICACIÓN	19
4. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DEL AGUA	22
4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA	22
4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL TRATAMIENTO DE AGUA	24
4.3 OPERACIONES EN EL PROCESO	25
5. ANTECEDENTES	28
6. ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL	29
6.1 HERRAMIENTAS ACTUALES	35
7. METODOLOGÍA	36
8. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	38
8.1 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	41
8.1.1 Instrumentación de Campo y equipos sensados	41

8.1.2 Sistema de adquisición y transmisión de datos	91
8.1.3 Enlace radio	111
8.2 COSTO FINAL DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS	120
8.3 DISEÑOS Y DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS	122
9. CONCLUSIONES	125
BIBLIOGRAFÍA	127
ÍNDICE	130
ANEXOS	133

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores admisibles de las características del agua	21
Tabla 2. Valores admisibles de las características del agua	21
Tabla 3. Ponderación de las sondas de Turbiedad	55
Tabla 4. Comparación de las sondas de Turbiedad	56
Tabla 5. Matriz de evaluación de las sondas de Turbiedad (Cadíca y desar.)	59
Tabla 6. Precisión de la sonda de Turbiedad VISOTURB 700 IQ	63
Tabla 7. Matriz de evaluación de las sondas de Turbiedad (decantadores)	63
Tabla 8. Especificaciones técnicas de la sonda de Turbiedad SOLITAX SC	65
Tabla 9. Ponderación para las sondas de pH	67
Tabla 10. Comparación de las sondas de pH	68
Tabla 11. Matriz de evaluación de las sonda de pH (Cadíca)	70
Tabla 12. Propiedades características del PEEK	71
Tabla 13. Matriz de evaluación de las sonda de pH (Decantadores)	74
Tabla 14. Especificaciones técnicas de la sonda de pH DPD1P1	76
Tabla 15. Ponderación para la sonda de Oxígeno disuelto (Cadíca)	78
Tabla 16. Comparación de las sondas de Oxígeno disuelto	78
Tabla 17. Matriz de evaluación de la sonda de oxígeno disuelto (Cadíca)	80
Tabla 18. Especificaciones técnicas de la sonda LDO SC	82
Tabla 19. Ponderación para el analizador de Aluminio Residual	85
Tabla 20. Especificaciones técnicas del analizador de Aluminio R.	86
Tabla 21. Matriz de evaluación del analizador de aluminio	88
Tabla 22. Ponderación para la selección del bus de campo.	95
Tabla 23. Comparación entre los buses de campo MODBUS y PROFIBUS	96
Tabla 24. Matriz de evaluación para el bus de campo	98
Tabla 25. Especificaciones técnicas de bus de campo PROFIBUS DP	101
Tabla 26. Distancia en relación con el medio físico y la velocidad	102
Tabla 27. Ponderación para la selección del PLC maestro PROFIBUS DP	106
Tabla 28. Comparación entre PLC's Maestros PROFIBUS DP	107
Tabla 29. Matriz de evaluación para el PLC Maestro PROFIBUS DP	108
Tabla 30. Especificaciones técnicas del PLC AC 800M de ABB	110
Tabla 31. Ponderación para la selección del radio	115
Tabla 32. Comparación entre Radios	115

Tabla 33. Matriz de evaluación para el radio	117
Tabla 34. Especificaciones técnicas del radio ELPRO 905 U-D	119
Tabla 35. Cotización total del proyecto	121
Tabla 36. Rangos de medición por unidad de medida	156
Tabla 37. Características del radio XStream – 192	167
Tabla 38. Especificaciones de los módulos de PLC MV156-PDPMV1	170
Tabla 39. Especificaciones de los módulos de PLC S7-300	171
Tabla 40. Especificaciones de los módulos de PLC TSX PREMIUM	174
Tabla 41. Cotización del analizador de aluminio, PLC ABB y radio MaxStream	178
Tabla 42. Cotización de los equipos de campo HACH	179
Tabla 43. Cotización de los equipos de campo WTW	180
Tabla 44. Cotización radio modem ELPRO	181
Tabla 45. Cotización del PLC maestro Allen Bradley	182
Tabla 46. Cotización del PLC maestro Siemens	183
Tabla 47. Cotización del PLC maestro Schneider	184

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama del proceso	24
Figura 2. Desarenador - Extractor de lodos	29
Figura 3. Desarenador – Tanque	29
Figura 4. Foto aérea de la Planta Río Cauca (Barrio La Base)	30
Figura 5. Cadíca (Tanque central)	31
Figura 6. Cadíca (Dosificación)	31
Figura 7. Decantador	32
Figura 8. Decantador – Flóculos	32
Figura 9. Decantador – Rasquéta	32
Figura 10. Decantador – Canaletas	32
Figura 11. Filtros de arena	33
Figura 12. Filtros de arena en paro	33
Figura 13. Mezclado de Cal	33
Figura 14. Dosificación de Cal	33
Figura 15. Tanques de Dióxido de Cloro	34
Figura 16. Clorinador	34
Figura 17. Tuberías de Cloración	34
Figura 18. Almenaras.	34
Figura 19. Controlador SC 1000	43
Figura 20. Acople de pantalla	43
Figura 21. Controlador SC 100	44
Figura 22. Módulo controlador	46
Figura 23. Pantalla del sistema	46
Figura 24. Acople de la pantalla al controlador	46
Figura 25. Sistema 182	46
Figura 26. Método de jarras	48
Figura 27. Dosificador de Aluminio	48
Figura 28. Tanque de almacenamiento de Sulfato de Aluminio	48
Figura 29. Principio de medición de la sonda VISOTURB 700 IQ	62
Figura 30. Principio de medición de la sonda SOLITAX SC	62
Figura 31. Decantador	64
Figura 32. Sonda SOLITAX SC	65
Figura 33. Montaje de inmersión de la sonda de pH DPD1P1	72

Figura 34. Cabezal de la sonda de pH DPD1P1	72
Figura 35. Sonda DPD1P1	75
Figura 36. Sonda LDO	82
Figura 37. Composición del sensor LDO	84
Figura 38. Analizador de aluminio residual (AZTEC1000)	90
Figura 39. PLC maestro ABB, AC 800M	103
Figura 40. PLC maestro Allen Bradley, CONTROLLOGIX	103
Figura 41. PLC maestro SIEMENS, S7-300	104
Figura 42. PLC maestro SCHNEIDER, Modicom TSX Premium	104
Figura 43. PLC maestro ABB	109
Figura 44. Módulo CPU (PM860)	111
Figura 45. Módulo PROFIBUS DP (CL 851)	111
Figura 46. Módulo de alimentación	111
Figura 47. Radio Módem 9XStream – 192	112
Figura 48. Radio Módem ELPRO 905 U-D	112
Figura 49. Antena de media onda omnidireccional	120
Figura 50. Antena YAGI	120
Figura 51. Distribución jerárquica con los equipos HACH	124
Figura 52. Controlador SC1000 con pantalla acoplada	139
Figura 53. Pantalla acoplable al modulo de sonda	141
Figura 54. Controlador SC100 con pantalla integrada	142
Figura 55. Pantalla acoplable (MIQ/T2020)	145
Figura 56. Módulo controlador (MIQ/MC)	147
Figura 57. Módulos de ramificación (MIQ/JB)	148
Figura 58. Módulo fuente de energía (MIQ/PS)	149
Figura 59. Acople electromecánico entre módulos	150
Figura 60. Controlador 182	150
Figura 61. Sonda VISOTURB 700 IQ	152
Figura 62. Sonda SENSOLYT 700 IQ	154
Figura 63. Electrodo SENSOLYT SEA	155
Figura 64. Sonda TRIOXMATIC 700 IQ	156
Figura 65. Distribución jerárquica con equipos WTW	158
Figura 66. Montaje de armario AZTEC1000	160
Figura 67. Gráfica Energía absorbida vs. Concentración	167
Figura 68. Embalaje óptico del analizador de aluminio	162
Figura 69. Radio modem 9XStream – 192	163
Figura 70. Cara anterior del radio modem	165
Figura 71. Antenas telescópica y articulada	165

Figura 72. Módulo maestro PROFIBUS	167
Figura 73. Módulo Ethernet 1756-ENBT	167
Figura 74. Módulo CPU 315-2 DP	169
Figura 75. Módulo de entradas análogas EM 331	169
Figura 76. Módulo Ethernet CP 343-1.	170
Figura 77. Fuente de alimentación	170
Figura 78. CPU	172
Figura 79. Módulo de entradas análogas	172
Figura 80. Interfase MODBUS – PROFIBUS	173
Figura 81. Fuente de alimentación	173

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Buses de campo	134
Anexo 2. Enlace Radio	137
Anexo 3. Sistema Multiparamétrico de HACH	138
Anexo 4. Sistema Multiparamétrico de WTW	143
Anexo 5. Analizador de aluminio residual (AZTEC1000 – Capital Control)	159
Anexo 6. Equipos de radio.	162
Anexo 7. PLC'S Maestros de Bus de Campo PROFIBUS DP.	165
Anexo 8. Cotización de equipos y empresas proveedoras	173
Anexo 9. Decreto 475 de 1998	181
Anexo 10. Carta de aceptación de informe final (Director académico)	214
Anexo 11. Carta de aceptación de informe final (Director de la empresa)	215
Anexo 12. Trabajo en formato IFAC del proyecto	216

RESUMEN

Actualmente la planta de acueducto Río Cauca, no tiene un sistema que analice constantemente las variables químicas más importantes del proceso de potabilización del agua, por lo cual se hacen varias propuestas para implementar un sistema general de instrumentación, que permita a los operadores un manejo más efectivo y menos tedioso del proceso. Se estudia dos sistemas multíparamétricos con el objetivo de analizar por medio de requerimientos de usuario y técnicos cual es el mejor para implementar en el proyecto, también se analizan sondas de pH, Turbiedad, oxígeno disuelto, un analizador de aluminio residual y un par de radios para realizar un enlace entre la planta de Puerto Mallarino y la planta de Río Cauca. Todos los equipos se les aplica una selección por medio de requerimientos y se realiza una evaluación de criterios para saber cual es el mejor para el proyecto.

Una vez que se definió la instrumentación de campo requerida, se entró a seleccionar un sistema de comunicación que permitiera la centralización de la información y la jerarquización de los equipos. Un protocolo de Bus de Campo que a través de un enlace serial RS-485, permita conectar muchas estaciones entre maestros y esclavos, y maneje una velocidad rápida de transmisión de datos. Con el uso de este sistema se requería la utilización de un maestro, quien seria el encargado de administrar el acceso al bus; para ello se planteó la utilización de un PLC maestro que aparte de cumplir esta función, centralizara la información y fuera una interfase entre la red, y un PC que se encargaría de mostrar los datos y recopilar información de las variables a través de un sistema SCADA.

INTRODUCCIÓN

La creciente globalización y la estandarización de los procesos productivos debido a la industria de las comunicaciones, ha llevado a dar un nuevo enfoque y reestructurar los sistemas de producción. Debido a ello se han creado institutos de estandarización (ISO, ANSI, CCITT, etc.), encargados de estipular las normas que deben cumplir los distintos entes empresariales para dar un mejor servicio al usuario final en su respectivo ramo productivo. A nivel de la industria del Hardware electrónico, se han generado alianzas estratégicas para la creación de organizaciones cuya labor es la generación de estándares y protocolos, que permitan a las empresas afiliadas comunicar sus productos sin que necesariamente compartan la misma plataforma tecnológica.

Los avances en las comunicaciones vienen permitiendo al sector industrial redefinir los procesos productivos haciéndolos más estructurados y la centralización de la información a llevado hacerlos más eficientes.

La búsqueda de procesos más eficaces, económicos y normativos con el objetivo de brindar un mejor servicio a los usuarios, ha llevado a la industria del agua a redefinir los procesos de transformación del líquido, usando como herramienta la instrumentación electrónica, la automatización y “las telecomunicaciones”. Por ello la estandarización de procesos eléctricos y electrónicos han hincado en el fondo de este sector productivo.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un estudio y diseño sobre la implementación de la instrumentación de variables analíticas, como Turbiedad, pH, Aluminio residual y Oxígeno disuelto, en todo el proceso de potabilización de la planta de acueducto Río Cauca.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.2.1 Plantear estrategias que permitan un manejo más efectivo en el proceso de operación del tratamiento de agua potable.
- 1.2.2 Determinar los criterios de selección de los instrumentos a utilizar en las diferentes mediciones del proceso de potabilización del agua.
- 1.2.3 Seleccionar el sistema de adquisición y transmisión de datos (variables analíticas sensadas) hacia cuarto de operaciones y control.
- 1.2.4 Analizar la tecnología más adecuada para la implementación de un sistema eficiente y confiable, que garantice la calidad de agua potable bajo los estándares del decreto 475 de marzo de 1998 expedidos por el Ministerio de Salud y las directrices de la O.M.S (Organización Mundial para Salud), para la calidad del agua potable establecidas en Génova Italia en 1993.

El Objetivo específico número cuatro presentado en el Anteproyecto del trabajo de grado donde se planteaba desarrollar un lazo de control para la dosificación de cloro, en los procesos de Pre y Poscloración, fue cancelado. Debido a disposiciones tomadas por la empresa, y a la complejidad e importancia de la creación del lazo de control, EMCALI decidió crear un proyecto aparte, dedicado exclusivamente a éste objetivo. Con estas medidas tomadas y por la complejidad de realizar el objetivo en las condiciones de tiempo y equipos, se da por cancelado el objetivo.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER

Actualmente la planta de acueducto Río Cauca, no cuenta con un sistema donde se puedan observar constantemente las variables químicas más importantes del proceso de potabilización del agua, por ende se necesita implementar un sistema general de instrumentación, para permitir a los operadores un manejo más efectivo y menos tedioso de las variables, prestando un servicio más eficaz al usuario final.

2.1 PRONOSTICO

El costo de los insumos químicos que intervienen en el proceso de potabilización del agua, es un tema de suma importancia para la empresa. El valor de cada vaso de agua que consume el usuario final, esta determinado en su gran mayoría por el costo del proceso químico.

La tendencia anual de los insumos químicos en el mercado es a estar al alza, si esta tendencia continuara o se presentaran picos elevados en los precios, el costo del agua potable cada vez seria más caro, hasta el punto de volverse insostenible para la empresa.

El aumento en la contaminación del cause del Río Cauca y la propensión a la rigidez en la normatividad del agua potable, harán más difícil para la empresa costear los procesos químicos de la potabilización sin un sistema efectivo que permita a los operarios y equipos, entregar los materiales necesarios al proceso.

2.2 CONTROL DEL PRONÓSTICO

Mejorando el monitoreo de las variables químicas (variables analíticas) con instrumentación electrónica, se le permitirá al operador de la planta contar con la información exacta del proceso químico en tiempo real sin tener que desplazarse al lugar de medida de la variable, facilitando concentrarse en crear las estrategias más adecuadas para la operación del proceso. Aprovechando la instrumentación, en el futuro se podría implementar la automatización de todas las variables químicas, porque la plataforma instrumental ayudaría a crear lazos de control efectivos.

3. JUSTIFICACIÓN

3.1 PRACTICA

Con la implementación de la Instrumentación de la planta de acueducto Río Cauca, se busca que el personal que esta realizando actividades de muestreo y verificación de la dosificación de químicos, se pueda concentrar en tareas de estrategia para el mejoramiento de la calidad del agua.

Los análisis de agua cruda son de utilidad, pero a menos que se hagan en todas las estaciones pueden ser engañosos, debido a las variaciones climáticas (pluviosidad) y al aumento de material suspendido entregado al cause del Río por sus tributarios, haciendo que las características del agua estén cambiando constantemente. Visualizar las variables implicadas en el análisis del agua de una forma estándar y rápida, facilitan la reacción de los operadores ante fallas del sistema ó cambios extremos en la composición del líquido y facilitan la dosificación adecuada de los químicos.

3.2 ECONÓMICA

El proyecto busca mejorar el uso eficiente de los productos químicos, debido al costo que estos generan para el proceso de tratamiento del agua.

Con la implementación de un sistema eficiente de medición de las variables analíticas en el proceso de potabilización del agua, se evitara a futuro las grandes

Inversiones en el montaje de equipos de laboratorio para las pruebas químicas y el estudio de estas variables en el proceso.

3.3 TEÓRICA

Al implementar sistemas de medición de variables analíticas (Turbidez, Oxígeno, Cloro y pH) en las primeras etapas del proceso de potabilización, ayudara a garantizar la exactitud de las concentraciones a suministrar y evitará gastar más tiempo y materiales en procesos posteriores como la decantación y la Poscloración.

3.4 LEGAL

Desarrollar sistemas y estrategias tecnológicas que permitan suministrar las concentraciones exactas de las sustancias químicas involucradas en el proceso de potabilización del agua, es fundamental, debido a la normatividad existente y la rigurosa fiscalización de los procesos de tratamiento y distribución del agua.

La norma legal que rige el proceso de potabilización del agua en Colombia, es el decreto 475 de marzo del 1998, que expidió el ministerio de salud. En esta norma se dan los parámetros admisibles de las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

Debido a que el proyecto se enfoca en la instrumentación de las variables analíticas del proceso de potabilización del agua (Turbiedad, pH, Oxígeno y Aluminio Residual), se tendrá en cuenta los siguientes parámetros entregados por el decreto 475 de marzo del 98 expuestos en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Valores admisibles en las características del agua.

CARACTERÍSTICAS	EXPRESADAS EN	VALOR ADMISIBLE
Color verdadero	Unidades de platino Cobalto (UPC)	≤15
Olor y Sabor	-	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas	≤5
Sólidos Totales	Mg/L	≤500
Sustancias Flotantes	-	Ausentes

Tabla 2. Valores admisibles en las características del agua.

CARACTERÍSTICAS	EXPRESADAS COMO	VALOR ADMISIBLE EN mg/L
Aluminio	Al	0.2
Acidez	CaCO ₃	50
Alcalinidad Total	CaCO ₃	100
Calcio	Ca	60
Cloruros	Cl ⁻	250
Dureza Total	CaCO ₃	100
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	250
Grasas y Aceites	-	Ausentes

Otros parámetros del decreto 475 que se tendrán en cuenta para el desarrollo del proyecto serán: el potencial de Hidrógeno (pH) que deberá estar entre 6.5 y 9.0. El nivel de Oxígeno en el agua no tiene una directriz establecida.

4. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DEL AGUA

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA

En el proceso de tratamiento del agua se debe tener en cuenta unas características muy importantes del líquido, las cuales se deben tener presentes durante el proceso, ya que en base a estas se hacen las dosificaciones para mezclar los químicos necesarios durante la potabilización del agua.

4.1.1 Turbiedad. La turbiedad caracteriza el aspecto del agua, indica la presencia de partículas sólidas, que pueden ser orgánicas e inorgánicas de diferentes tamaños. La turbiedad se puede determinar bajo fenómenos ópticos; es decir por la cantidad de luz transmitida, reflejada o dispersada por una muestra de agua.

4.1.2 Color. Es la presencia en el agua de partículas sólidas de tamaño coloidal y de naturaleza química orgánica, e inorgánica.

4.1.3 Coloides. Es material suspendido en el agua, que por su tamaño se comporta como una solución verdadera (Material en suspensión tan pequeño que parece disuelto). Este puede ser de origen orgánico (macromoléculas de origen vegetal) o inorgánico (óxido de hierro y manganeso).

4.1.4 Olor y sabor. Estas características son de determinación organoléptica y subjetiva, para las cuales no existen instrumentos que las puedan medir. Estos parámetros tienen un interés evidente en los consumidores ya que se pueden sentir (el agua con un pH bajo tiene mal sabor).

4.1.5 Sólidos disueltos. Son sólidos que por su tamaño, son enmascarados por el agua (se miden en ppm - partículas por millón).

4.1.6 Sólidos en suspensión. Son residuos que pueden ser retenidos con el uso de filtros.

4.1.7 pH. Es una medida que indica la condición ácida o alcalina del agua, está basada en la constante de ionización del agua. La medida se interpreta así:

- 0 - 6 Condición ácida (0 es lo más ácido).
- 7- 14 Condición alcalina (7 me indica que es muy alcalino).

La alcalinidad es la capacidad que tiene el agua de neutralizar los ácidos. La acidez es la capacidad que tiene el agua para neutralizar bases.

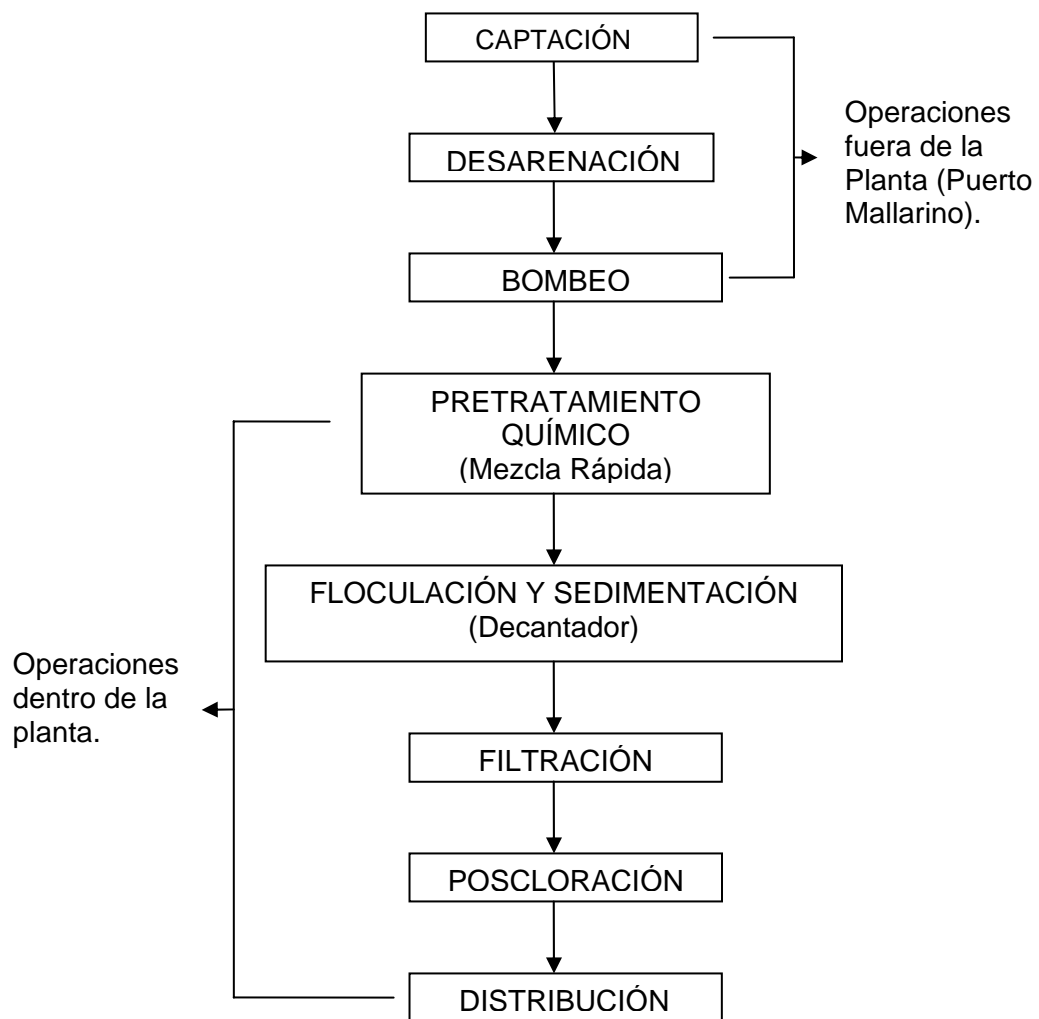
4.1.8 Dureza. Es una propiedad del agua y se debe a los iones de Ca^{++} , Mg^{++} , Mn^{++} y Sr^{++} , estos iones impiden la formación de espuma en presencia de jabón, cuando esta propiedad no es controlada, con el paso del tiempo puede causar daño a las tuberías que transportan el líquido, debido al rozamiento. La dureza se expresa en mg/Litro y se clasifica:

- | | |
|-------------|-------------------|
| • 0 -75 | Agua blandas |
| • 75 – 150 | Ligeramente duras |
| • 150 – 300 | duras |
| • >300 | muy dura |

4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL TRATAMIENTO DE AGUA DE LA PLANTA RÍO CAUCA

En la figura 1 se esboza las etapas por que pasa el agua cruda antes de convertirse en líquido apto para el consumo humano.

Figura 1. Diagrama del proceso.



4.3 OPERACIONES EN EL PROCESO

4.3.1 Captación. La captación del agua se hace a través de un sistema de sifón ubicado en el fondo del cause. El sifón es una estructura rectangular provista de un emparrillado o rejilla, que permite la retención de los compuestos más grandes que el río transporta. A través de un sistema de bombas de vacío, el agua es transportada al desarenador.

4.3.2 Desarenación. Con este proceso se busca que materiales de gran masa como piedras, arena y arenilla sean sedimentados, evitando la obstrucción y el deterioro por rozamiento de las tuberías que transportan el agua.

El desarenador básicamente es un tanque, que permite sedimentar de forma rápida las partículas más pesadas que vienen de la captación, y cuya eficiencia depende: de la repartición uniforme del caudal a lo ancho del tanque, del área superficial y del tamaño de las partículas a sedimentar. Al final de los desarenadores se hace el respectivo bombeo al siguiente proceso.

4.3.3 Pretratamiento químico. En el pretratamiento químico se busca eliminar las propiedades no deseadas del agua, como el olor, sabor, algas fotosintéticas, algunos patógenos y grandes concentraciones de Hierro y Manganeseo. Básicamente los compuestos químicos utilizados son: Carbón activado, Sulfato de aluminio (Alumbre) y Cloro.

El Carbón activado es utilizado con el fin de eliminar olores desagradables en el agua, mejorar el sabor, elimina algas y algunos compuestos orgánicos. Ésta sustancia es suministrada en forma de lechada, en una dosis que varía entre los 3 y 20mg/l justo antes de la coagulación.

El uso del Cloro se utiliza en la Precloración del agua con el fin de eliminar Coliformes, algas y patógenos. Debido a la turbidez del agua el cloro es

enmascarado y absorbido por esta, razón por la cual la concentración del suministro del químico debe ser mucho mayor a posteriores procesos de desinfección.

El Sulfato de Aluminio es el motor principal del proceso de coagulación. El objetivo primordial de la coagulación es hacer que las partículas en suspensión sobre el agua, que poseen tamaños entre 10^{-7} mm y 10^{-1} mm, se sedimenten. Este proceso hace un aporte importante al mejoramiento de la Turbidez, Color, Dureza del agua y la eliminación de Hierro, Manganeseo y algunos patógenos. La mayoría de partículas en suspensión poseen cargas electrostáticas negativas, las cuales se repelen unas a otras y por ende se mantienen en suspensión. El sulfato de Aluminio cambia la carga electrostática de las partículas, desestabilizándolas y permitiéndoles que se atraigan y formen “Micro Flóculos”. El micro Flóculo es poco sedimentable y para eliminarlo se necesitará un proceso posterior.

El pretratamiento químico se lleva a cabo dentro de un tanque de mezclado rápido o Cadica, donde se aprovecha la fuerza hidráulica, para hacer una mezcla rápida de los compuestos químicos agregados al líquido.

4.3.4 Floculación y sedimentación de flóculos. La Floculación hace referencia a aquellas partículas que son ayudadas químicamente a aglutinarse, y formar partículas más grandes que puedan ser sedimentadas por acción de la gravedad.

Después de ocurrida la Floculación, los Flóculos son obligados a desacelerarse y sedimentarse en el fondo de un tanque Clarificador, para la posterior recolección con una rasqueta de lodos. Los procesos de Floculación y sedimentación de flóculos se llevan a cabo en los tanques Clarificadores o Decantadores.

4.3.5 Filtración. Como su nombre lo indica, este proceso busca eliminar partículas suspendidas en el agua que no fueron sedimentadas en los decantadores; también elimina algunos patógenos y mejora el color del agua. Los filtros utilizados en este proceso son filtros de arena; poseen varias capas de

arena distribuidas equitativamente en el área del filtro. Básicamente aprovecha los espacios intersticiales entre los gránulos de arena para retener partículas, a medida que el agua desciende hacia el fondo del filtro estos espacios se van reduciendo, eliminando partículas aun más pequeñas y haciendo un filtrado por efecto de la gravedad.

4.3.6 Desinfección o Poscloración. En el proceso de Desinfección se neutralizan los microorganismos que aun quedan después de todo el proceso de potabilización, controlando el pH del agua.

El componente químico utilizado en el proceso de Poscloración es ClO_2 (Dióxido de Cloro), que posee un poder oxidante 25 veces mayor que el Cloro. En condiciones normales es un gas amarillento que se licua a 10°C , y cuando es mezclado con agua, se degrada si entra en contacto con la luz. A altas temperaturas este material es explosivo. El Dióxido de Cloro es suministrado al agua y su aplicación no afecta el olor, ni el sabor; su acción antibacterial depende del pH.

4.3.7 Distribución. Una vez almacenada el agua se agrega Cal, cuya función principal es adelgazar el líquido para evitar el efecto mecánico sobre las tuberías y su posterior deterioro.

Después de finalizado el proceso de Potabilización, se realiza un bombeo a alta presión desde el lugar de almacenamiento hasta las tuberías de distribución en la Ciudad.

5. ANTECEDENTES

Entre las plantas de tratamiento de agua potable de EMCALI E.I.C.E. E.S.P que surten en la actualidad a la ciudad de Cali, se encuentran la plantas del Acueducto de Río Cali, Río Cauca, Puerto Mallarino, La Reforma y La Elvira. Hoy en día, la planta de Puerto Mallarino es la más tecnificada, y es quien entrega el mayor porcentaje de agua a la ciudad. Hace poco, en ella se realizó un proyecto muy similar al que se piensa implementar en la Planta de acueducto de Río Cauca. Allí se instrumentaron variables analíticas como Turbiedad, pH, Cloro y Aluminio residual en distintas partes del proceso. La recolección de la información de los sensores se realizó a través de un sistema denominado IQ sensor Net, que tiene como objetivo concentrar la comunicación interna, utilizando una técnica de transmisión digital mediante una línea de 2 hilos. Los operarios pueden observar los valores de las variables analíticas desde el laboratorio en un panel de visualización, y así pueden tomar dediciones de forma rápida, frente a eventuales problemas en el proceso.

A nivel nacional encontramos plantas de tratamiento de agua como Niza y Luís Prieto en Manizales, en las cuales se implemento la automatización de la dosificación de los químicos, a través de un bus de campo MODDBUS RTU de tecnología francesa.

6. ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

La captación del agua se hace a través de una bocatoma ubicada en el cause del Río Cauca, desde allí es bombeada hasta un Desarenador dispuesto en los predios de la Planta de Acueducto de Puerto Mallarino (Barrio Andrés Sanín) por medio de un sistema de sifón rectangular, el cual posee un emparrillado ó rejilla que ayuda a la retención de materiales en suspensión de gran tamaño que arrastra el Río.

El desarenador es un tanque rectangular (véase figura 3) de gran profundidad que reparte uniformemente el caudal a su ancho, permitiendo que las partículas más pesadas como arena y grava puedan ser sedimentadas. A la entrada del tanque se encuentra ubicada una zaranda viajera que recoge materiales en suspensión como plásticos, hojas, telas, etc, que no fueron retenidos por las rejillas del sifón de la bocatoma. El desarenador posee un extractor de lodos (véase figura 2) que bombea el sedimento del fondo del tanque y lo regresa al Río. A un lado del tanque se encuentra ubicada una sala de bombas, que se encarga de llevar el agua del desarenador a la Planta de Río Cauca ubicada a 2km de distancia (véase figura 4).

Figura 2. Desarenador - Extractor de lodos.



Figura 3. Desarenador - Tanque.



Figura 4. Foto aérea de la Planta Río Cauca (Barrio La Base).



Fuente: Archivo fotográfico de la Planta de Acueducto Río Cauca. Cali, febrero de 2000.

En la planta, el tanque de mezcla rápida ó Cadíca (véase figura 5) es quien recibe el agua bombeada desde el desarenador. En la Cadíca se agregan cuatro sustancias principales al agua (véase figura 6), Sulfato de Aluminio (Coagulante), Cal (reduce el pH), Cloro concentrado (antibacterial) y Carbón Activado (Eliminación de olores y sabores). El tanque aprovecha la fuerza hidráulica de entrada del agua para hacer un mezclado rápido de los químicos agregados al proceso. Desde allí se distribuye el líquido a dos grupos de tres tanques decantadores (reactores).

Figura 5. Cadíca (Tanque central).



Figura 6. Cadíca (Dosificación).



En los tanques decantadores (véase figura 7) es donde realmente reaccionan los químicos que fueron agregados en el proceso anterior; como se observa en la figura 8, en ellos ocurre la floculación de las partículas suspendidas y su sedimentación, allí es donde actúa el Cloro como agente antibacterial y se estabiliza el pH en el agua. Como lo indica la figura 9 la sedimentación de los flóculos forma lodos en el fondo de los tanques, los cuales son recolectados por una Rasquéta que los concentra para su posterior extracción en el centro del Decantador. El agua superficial de los tanques es enviada a través de unas canaletas (véase figura 10) a los filtros de arena.

Figura 7. Decantador.



Figura 8. Decantador – Flóculos.



Figura 9. Decantador – Rasquétas.



Figura 10. Decantador – Canaletas.



Como se muestran en las figuras 11 y 12 los filtros de arena básicamente están compuestos de distintos tipos de grava y arenilla, a medida que el agua cae por acción de la gravedad hacia el fondo del filtro, las capas de arena se van volviendo más finas, atrapando el material particulado que todavía persiste en el agua. Cuando se hace necesario, a los filtros se les retira el material particulado acumulado usando aire comprimido.

Figura 11. Filtros de arena.



Figura 12. Filtros de arena en paro.



El agua filtrada es recolectada en una cisterna común, donde se agrega Cal (véase figuras 13 y 14) como medida de protección de las tuberías (Para evitar el descaste mecánico). Como lo presentan las figuras 15, 16 y 17, Cloro en baja concentración (Poscloración) es agregado al agua para matar las bacterias remanentes y subir el pH en caso de ser necesario.

Figura 13. Mezclado de Cal.



Figura 14. Dosificación de Cal.



Figura 15. Tanques de Dióxido de Cloro.



Figura 16. Clorinador.



Figura 17. Tuberías de Cloración.



Después de la Poscloración y la Calcificación en la cisterna, el agua es bombeada a la ciudad. Este tipo de plantas cuentan al final del proceso con un sistema de golpe de Ariete o Almenaras (véase figura 18), que les permiten estabilizar la presión en el sistema de distribución, y evitan que en caso de suspensión del servicio por parte de la planta, el agua regrese y afecte los equipos de la instalación.

Figura 18. Almenaras.



6.1 HERRAMIENTAS ACTUALES

Actualmente la planta de acueducto de Río Cauca no cuenta con el sensado de variables analíticas en la mayor parte del proceso de potabilización del agua. Los únicos sistemas de instrumentación de variables analíticas implementados se encuentran al “final del Tubo”, midiendo variables como pH, Cloro y Turbiedad.

El proceso en la planta es muy fuerte para el operador encargado de la dosificación de químicos, debido a que no se cuenta con una medida constante de variables, es decir que tiene que tomar la gran decisión de definir el lazo de tiempo más adecuado guiado por su experiencia, para hacer el levantamiento de las muestras necesarias para su posterior análisis en el laboratorio.

En los principales sitios de transformación del agua como el Desarenador, la Cadíca y la Cisterna, no se realiza ningún tipo de medida analítica y en los Decantadores no existe un muestreo constante de la superficie del agua antes de enviarla a los filtros, este tipo de falencias pueden llevar a malas dosificaciones, retardo en los procesos y disminución en la calidad del agua que se le entrega al consumidor.

Las principales herramientas para definir la dosificación de los químicos en el proceso, se realizan en el laboratorio a través de ensayos de jarras y medidores de pH, que definen la dosificación aproximada de Sulfato de Aluminio para el control de la Turbiedad, la dosificación del Cloro y la Cal.

7. METODOLOGÍA

El proyecto tuvo una duración total de siete meses, teniendo como punto de partida la última semana de septiembre del 2005 y finalizando la primera semana de abril del 2006. El proyecto fue desarrollado en varias etapas las cuales se describen a continuación:

- La primera etapa consistió en la asimilación del proceso de potabilización del agua que se realiza dentro de la planta. Dentro de esta etapa se realizó la documentación química y legal del proceso, se hizo el respectivo reconocimiento del sistema actual de la planta y se recogió información del desarrollo de procesos de potabilización en otras plantas de Cali (Plantas de Puerto Mallarino y Río Cali) y Palmira (Acuaviva). La documentación química fue parte primordial dentro de la primera etapa, debido a que todo el proceso sobre el cual se enfocó el proyecto es químico y la selección posterior de la instrumentación se basó en este tipo de criterios. La documentación legal estuvo fundamentada en el decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud.
- En la segunda etapa se desarrolló un estudio sobre la instrumentación y el tipo de tecnología requerida. Una vez seleccionadas las variables a sensor (según su importancia dentro del proceso) y el tipo de tecnología a usar con ellas, se investigó en el mercado las empresas proveedoras que manejaran la tecnología seleccionada para obtener los respectivos datos técnicos de los instrumentos.
- Con los resultados obtenidos en las dos etapas anteriores, se focalizó en la búsqueda de una plataforma de comunicaciones que permitiera ser la base

Para centralizar la información del proceso (sin centralizar el control de la instrumentación) y fuera el pilar principal para la futura sistematización de toda la planta. Se toma la decisión de trabajar con Buses de Campo debido a que los equipos de instrumentación seleccionados utilizan comunicación en red a través de PROFIBUS DP ó MODBUS RTU.

- Dentro de la cuarta etapa se hicieron unos diseños preliminares basándose en los planos civiles de la planta. Con ellos, se definió la ubicación más eficiente y económica de los equipos de instrumentación, y con la información recogida en la etapa anterior, se entro a investigar y cotizar los equipos necesarios para desarrollar la red PROFIBUS DP (Bus de Campo seleccionado) y centralizar la información en el laboratorio de la planta.
- La etapa final consistió en la recopilación de toda la información del proceso investigativo y se hizo un rediseño, incluyendo los equipos que fueron cotizados en las etapas finales. Se retomaron los planos civiles, se digitalizaron (AutoCAD 2005) y se agregaron los diseños respectivos, teniendo en cuenta las normas ANSI para instrumentación y control. En la misma etapa fue desarrollado y replanteado el informe final (para mayor información de los planos en Autocad escribe al correo alex_q82@yahoo.com).

8. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

El principal problema que presenta la Planta de Acueducto en el proceso químico de potabilización del agua, es la deficiente instrumentación que posee en la actualidad.

Este proyecto esta enfocado en su primera fase, a plantear un sistema eficiente, sostenible y tecnológico, que permita resolver la carente instrumentación del proceso químico.

Dando cumplimiento al primer objetivo específico del proyecto, se procede a plantear las estrategias que permitirán un proceso eficiente de potabilización:

- Con las investigaciones realizadas, se encontraron los puntos de acción más críticos en los cuales debe tener cabida el proyecto. Según su orden en el proceso de potabilización estos puntos son: Desarenador, Cadíca, Decantadores, Cisterna y Laboratorio.

Según las normas de calidad del agua expresadas en el artículo 19 del decreto 475 del 98 (Ver anexos) las personas que prestan el servicio público de acueducto, deberán practicar como mínimo los siguientes análisis organolépticos y físico-químicos: pH, color, olor, sustancias flotantes, turbiedad, nitritos, cloruros, sulfatos, hierro total, dureza total y cloro residual libre, cuando éste se utilice como desinfectante.

Con asesoría de químicos, operadores del laboratorio de la planta y documentación sobre los procesos básicos de potabilización del agua, se llego a la conclusión que los parámetros más críticos a tener en cuenta son: Turbiedad (parámetro físico), pH, Oxígeno Disuelto y

Aluminio residual (parámetros químicos). Los parámetros restantes exigidos en el artículo 19 pueden seguir consiguiéndose en el laboratorio, por no presentarse como factores críticos para el desarrollo continuo del proceso. Con las evaluaciones anteriores se entro a identificar la ubicación de las variables en la planta, la cual es descrita a continuación: Desarenador – Turbiedad; Cadica – Turbiedad, pH, Oxígeno Disuelto; Decantadores – Turbiedad y pH; Cisterna - Aluminio residual. A pesar que el Cloro es una variable crucial en el proceso de potabilización no se tendrá en cuenta en el proyecto, pues ya existen dos equipos sensando agua proveniente de la Cisterna (analizadores de Cloro), que permitirán garantizar niveles óptimos de Cloro en el agua aptos para el consumo humano.

Con los principales parámetros seleccionados, la mejor opción para garantizar los niveles establecidos en la normatividad, es la implementación de instrumentación electrónica en campo, buscando reunir los datos de medida en el laboratorio, lugar donde se definen las dosificaciones de las sustancias químicas y se controlan los dosificadores de Cal y Sulfato de Aluminio.

- La Coagulación del material particulado del agua, es un proceso en el cual se ionizan los materiales suspendidos en el líquido para que se aglutinen y posteriormente se decanten. El químico motor de este proceso es el Sulfato de Aluminio o Alumbre, sustancia que es agregada junto con el Carbón Activado como una lechada en la Cadica. Por su costo y acción coagulante resulta de suma importancia agregar las cantidades precisas de Sulfato, el planteamiento resulta ser, el uso de instrumentación que analice la cantidad de sustancia que reacciona con el agua durante el proceso, lo que permitirá hallar la demanda de coagulante y controlara el exceso de aluminio que puede ser perjudicial para el consumo humano.

El instrumento a utilizar en la medición del Coagulante deberá estar ubicado en las etapas finales del proceso, preferiblemente muestreando agua proveniente de la Cisterna, lugar donde se almacena el agua tratada y parte a un sistema de bombas que la envían a la Ciudad.

- Como se determinó en una estrategia anterior, las variables analíticas recolectadas con los instrumentos distribuidos en campo, serán concentradas en el laboratorio, con el fin de facilitar la determinación de estrategias de dosificación por parte de los operadores de la planta.

Debido a que se deberán utilizar gran cantidad de instrumentos, muchos de ellos de distinta tecnología (variedad de fabricantes), se hace necesario el uso de una plataforma de comunicaciones que permita a estos equipos hablar en un idioma común. La estrategia que se plantea, es la utilización de un Bus de Campo, que permitirá a través de un enlace serial recoger la información de todos los puntos de sensado y llevará los datos al laboratorio para ser visualizados en un PC. A través del Bus de Campo se podrán configurar la mayoría de los dispositivos y se logrará monitorear el desempeño de cada uno.

En las siguientes secciones se dará a conocer el estudio realizado para la selección de los equipos requeridos en el proyecto, la plataforma de comunicaciones seleccionada y los diseños de distribución que surgieron con los equipos seleccionados. Con lo anterior se da cumplimiento a los objetivos dos, tres y cuatro planteados para el proyecto.

8.1 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

8.1.1 Instrumentación de Campo y equipos de sensado. A continuación se muestra los sistemas multiparamétricos y todos los equipos que se utilizan en el proyecto.

Sistemas Multiparamétricos de medición. Una de las recomendaciones que hizo la empresa para llevar a cabo la selección de los equipos que se van a utilizar en el proyecto, es investigar sobre sistemas multiparamétricos de medición para trabajar la instrumentación, debido a que son sistemas que se vienen implementando en otras plantas de acueducto donde se ha logrado buenos resultados en la medición de parámetros químicos. Se aclara que se dará prioridad sobre el desempeño de los sensores quienes en últimas estarán dando solución a los requerimientos planteados por el usuario y el proyecto.

Los sistemas Multiparamétricos, básicamente son dispositivos centrales que permiten manejar varias sondas digitales al mismo tiempo con distintos parámetros de medición, recogen información de la medida, del estado de la sonda, testean la temperatura del área de trabajo del sensor, registran los datos de todo el sistema, permiten crear estrategias de mantenimiento automáticas, poseen pantallas móviles (Se pueden cambiar de estación dentro del sistema) que sirven como HMI (Interfase Hombre Maquina), entregan datos estadísticos sobre el desempeño del sistema y poseen interfaces de Bus de Campo para ser integrados con sistemas de información y control superior.

En el mercado se encontraron solo dos fabricantes de sistemas Multiparamétricos, los cuales son especialistas en el ramo de la instrumentación para Plantas de tratamiento de agua (Potable y Residual), la firma Norteamericana HACH LANGE S.L.U y la firma Alemana WTW. A pesar de contar con muchas similitudes, los sistemas Multiparamétricos de HACH y WTW, tienen marcadas diferencias en su desempeño y en especial en la forma de comunicación entre los dispositivos centrales y las sondas. A continuación se dará a conocer cada uno de los

sistemas multiparametricos investigados, y se mostrará la ubicación de cada una de las sondas requeridas con el uso de cada sistema.

Sistema Multiparamétrico HACH. Con el fabricante HACH se van a manejar básicamente tres tipos de sonda: Turbiedad, pH y Oxígeno disuelto.

Se emplearán ocho sondas de turbiedad con la siguiente función y distribución (planos 1, 2 y 5). Una sonda en el desarenador que por su cercanía a la Boca Toma, permitirá alertar a los operadores de cambios súbitos en la concentración de lodos del cauce, permitiendo dar tiempo a la ejecutar estrategias de emergencia. Otra sonda en la Cadíca que facilitara evaluar el nivel de Turbiedad con el que llega el agua al primer nodo de la Planta, después de haber sido bombeada 2Km desde Puerto Mallarino. Se ubicará una sonda de Turbiedad en cada uno de los seis Decantadores, con el objetivo de evaluar la acción de los coagulantes agregados en la Cadíca. Serán empleadas siete sondas de pH, una en la Cadíca y seis en los Decantadores. En la primera se mediría el nivel de pH con que llega el agua desde la fuente y en los segundos, se evaluaría el nivel de reacción del Cloro y la Cal agregados en la Cadíca (El Cloro baja en nivel de pH y la Cal lo sube). La sonda de Oxígeno disuelto será ubicada en la Cadíca, con el fin de medir el nivel de Oxígeno contenido en el agua y el consumo de Oxígeno de los microorganismos (Benignos y Patógenos).

Las sondas propuestas son digitales, no poseen la típica salida de 4 a 20mA, a cambio de ello entregan una señal completamente digital sobre protocolos de comunicación estándar como PROFIBUS DP y MODBUS RTU; lo cual permite integrar sondas digitales de otras marcas que manejen estos protocolos, al sistema Multiparamétrico administrado por un módulo central controlador.

El módulo central SC 1000 (véase figura 19) o módulo controlador puede manejar un máximo de ocho sondas digitales, tiene la capacidad de reconocer el tipo de sonda y facilita su manipulación sin necesidad de apagar el sistema (Plug and Play), posee una interfaz de Bus de Campo (PROFIBUS DP ó MODBUS RTU) para comunicarse con otros controladores HACH (el sistema en red maneja un

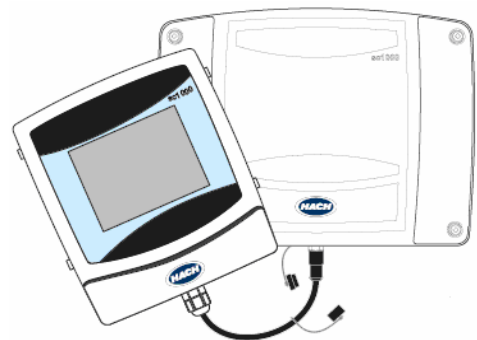
máximo de veinte sondas digitales), posee funciones de control P, PI, PID, módulos de entradas/salidas análogas, salidas de relé, puerto Ethernet y puerto infrarrojo para descarga de datos, opcionalmente trae un modulo GSM que permite enviar mensajes de texto a celulares o PDA's para alertar de fallas ó simplemente descargar datos del sistema. Como se observa en la figura 20, al controlador puede ser acoplada una pantalla a color sensible al tacto que registra los datos del sistema, permite la programación de todos los controladores que se encuentren conectados en red, y genera gráficas estadísticas del comportamiento de las mediciones de todas las sondas conectadas a los controladores. Cuando se forma una red con los controladores HACH, la pantalla puede ser acoplada en cualquier controlador de dicha red.

Figura 19. Controlador SC 1000.



Fuente: HACH. SC1000 [en línea].
Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com>

Figura 20. Acople de pantalla.



Fuente: HACH. SC1000 [en línea].
Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com>

La conexión de red entre controladores HACH, es realizada a través de RS-485. Ninguno de los controladores tiene la capacidad de ser maestro de la red, con lo que se hace necesario un dispositivo de nivel superior para administrarla (PLC maestro PROFIBUS DP ó MODBUS RTU).

Debido a que en el desarenador solo se va instalar una sonda de turbiedad por ahora, se decidió utilizar un controlador de menor capacidad, el SC 100 (véase

figura 21). Este controlador puede manejar un máximo de dos sondas digitales, posee dos salidas análogas, tres salidas de relé, interfase PROFIBUS DP y trae integrada la pantalla al controlador; al igual que la pantalla del SC 1000 permite registrar la información de las sondas, configurarlas y generar gráficas estadísticas de sus mediciones. Este equipo se integrara al Bus de Campo de la Planta de Río Cauca a través de un enlace radio.

Figura 21. Controlador SC 100.



Fuente: HACH. SC100 [en línea]. Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com>

Para mayor información sobre estos sistemas multiparametricos hacer referencia al anexo 3.

Sistema Multiparamétrico WTW. Con el fabricante Alemán WTW se tendrán en cuenta tres tipos de sonda: Turbiedad, pH y Oxígeno disuelto.

Con este sistema se ubicarán ocho sondas de Turbiedad por todo el proceso con la siguiente distribución (planos 3, 4 y 6). Una sonda en el desarenador, una segunda en Cadíca y seis en los decantadores. Habrá siete sondas de pH distribuidas en la Planta: una en la Cadíca y seis en los decantadores. Acompañando las sondas de Turbiedad y pH en la Cadíca, estará la sonda de Oxígeno disuelto. La función que va a desempeñar cada sonda en el proceso, es la misma que se le asignó a cada una de las sondas del fabricante HACH.

La diferencia del sistema Multiparamétrico WTW en relación a otros sistemas del mercado, está en la forma de conexión de sus sondas. WTW utiliza módulos de ramificación (Junction Box) que deben estar ubicados cerca al sitio de medida, la función básica de estos módulos es servir de interfase entre la sonda y el bus propietario del sistema. El módulo de ramificación tiene capacidad para un máximo de dos sondas digitales (solo sondas digitales WTW). El sistema permite realizar tareas de mantenimiento en la instrumentación sin necesidad de pararlo, y admite integrar nuevas sondas propietarias con los equipos en funcionamiento, las cuales son reconocidas de inmediato por el sistema (Plug and Play).

El Bus propietario del sistema llamado IQ Sensor Net tiene doble propósito, entregar alimentación a las sondas y recoger los datos generados por cada una de ellas, para llevarlas al módulo central que se encarga de administrar la red propietaria.

Solo se pueden integrar sondas análogas de otras marcas, los módulos análogos que realizan este trabajo poseen un máximo de dos entradas que son integradas al bus propietario como el resto de los módulos (físicamente todos los módulos son iguales). La alimentación del sistema es suministrada por módulos de abastecimiento de energía (MIQ/PS) acoplados al módulo central, los cuales se alimentan de la red y entregan una tensión de salida de 24V.

El módulo controlador del sistema IQ Sensor Net 2020 (ver figura 22) ó módulo central, solo tiene capacidad de controlar las sondas a través del bus propietario, puede manejar un máximo de veinte sondas entre digitales y análogas, no posee funciones de control (P, PI, PID) y ostenta programación de ciclos de limpieza para las sondas. Como lo muestran las figuras 23 y 24, al sistema Multiparamétrico IQ Sensor Net 2020, puede acoplarse una pantalla portátil en blanco y negro que se encaja en cualquier módulo de la red, dicha pantalla registra los datos entregados por las sondas, crea gráficas estadísticas de desempeño, y posee un teclado que permite reprogramar las sondas al igual que el módulo central. Al módulo central puede ser acoplada un módulo interfase de Bus de Campo (PROFIBUS DP ó MODBUS RTU), que permite integrar todo el sistema Multiparamétrico a una red industrial de datos de nivel superior.

Figura 22. Módulo controlador.



Figura 23. Pantalla del sistema.



Figura 24. Acople de la pantalla al controlador.



Fuente: WTW. IQsensor Net [en línea]. Weilheim: WTW, 2005. [Consultado 28 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.wtw.com>

Fuente: WTW. IQsensor Net [en línea]. Weilheim: WTW, 2005. [Consultado 28 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.wtw.com>

Fuente: WTW. IQsensor Net [en línea]. Weilheim: WTW, 2005. [Consultado 28 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.wtw.com>

Debido a que solo se instalará una sonda de turbiedad en el desarenador no es requerido un sistema robusto. Se utilizará el sistema 182 (véase figura 25) que tiene un controlador con capacidad de conectar dos sondas digitales, pantalla integrada, dos salidas análogas, tres salidas de relé y una interfaz PROFIBUS DP.

Figura 25. Sistema 182.



Fuente: WTW. IQsensor Net [en línea]. Weilheim: WTW, 2005. [Consultado 28 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.wtw.com>

Sensado de aluminio residual. Uno de los químicos más indispensables en el proceso de potabilización del agua es el Sulfato de Aluminio, su función es la supresión de material particulado y sólidos suspendidos (Coagulación y Floculación), que no son eliminados en procesos hidráulicos como la desarenación.

En los procesos que se llevan a cabo actualmente, se establece la dosis requerida de Sulfato de Aluminio a través de pruebas de jarras en el laboratorio, como se muestra en la figura 26. Este método consiste en tomar muestras de agua provenientes de la entrada de la Cadíca, repartirlas en varios vasos y a cada uno agregar una dosis distinta de sulfato de aluminio; en cada vaso es introducida una paleta rotatoria, que mezcla el sulfato con el agua durante un corto periodo de tiempo, la cual acelera el proceso de floculación; la muestra en la que primero se produzca la decantación de flóculos, se toma la dosis agregada, se magnifica y como lo muestra la figura 27, se activa la dosificación de Sulfato de Aluminio (Alumbre) desde un variador de velocidad, que se encarga de controlar el bombeo de la sustancia en forma de lechada, desde tanques de almacenamiento (véase figura 28) ubicados en la parte posterior del edificio central hasta la Cadíca. Una vez dosificado el Sulfato de Aluminio no se registra la absorción del químico en el agua, el grado de desperdicio o el nivel residual de Aluminio presente en el líquido al final de todo el proceso de potabilización. Siendo este químico uno de los productos más caros e importantes del proceso, y con la necesidad de garantizar niveles residuales de aluminio, que estén acordes a los parámetros dictaminados por el decreto 475, resulta de suma importancia la adquisición de instrumentación, que permita la dosificación eficiente de este químico en el tratamiento del agua.

Figura 26. Método de jarras.



Figura 27. Dosificador de Aluminio.



Figura 28. Tanque de almacenamiento de Sulfato de Aluminio.



El decreto 475 exige garantizar un nivel de aluminio máximo 0,2mg/L, con lo cual el equipo a seleccionar, debe de estar en la capacidad de sensar este y menores valores en el agua muestreada.

En el mercado no existen sondas que midan directamente el nivel de Aluminio residual en el agua, en contraprestación, existen equipos llamados analizadores

que toman muestras del líquido a sensor, y les agregan reactivos químicos que por medio de sensores generalmente ópticos, miden el nivel de reacción del agua en presencia de ciertos compuestos.

En el mercado solo se encontró un equipo con capacidad para sensor aluminio el AZTEC 1000 de la firma inglesa Capital Control. El equipo, es un analizador de aluminio residual que trabaja bajo un principio colorimétrico, en donde se agrega un reactivo llamado Violeta Pyrocatechol (básicamente es un indicador químico que reacciona en presencia de Aluminio) al agua muestreada, que da un tono violeta determinado dependiendo de la concentración de aluminio en el agua. Posteriormente se hace atravesar un haz de luz sobre la muestra y se sensa la longitud de onda adsorbida por la mezcla, dicha absorción de luz, será cuantificada por el microprocesador del equipo como una concentración de Aluminio (para mayor información sobre el principio de medición del equipo ir a el anexo 5).

En los planos 1 y 3, el analizador de aluminio residual será ubicado en la parte anterior del edificio central, donde actualmente se encuentran otros analizadores (dos de Turbiedad, dos pH y dos Cloro). Se piensa aprovechar las tuberías ya instaladas provenientes de la cisterna, para tomar las muestras de agua tratada. Una vez entregada la medida por el analizador, será enviada al igual que seis medidas más (las medidas de los analizadores existentes), al sistema central de información ubicado en el laboratorio, a través de un módulo de entradas análogas.

Criterios de selección de las sondas y equipos de sensado.

En ésta sección se expondrán los criterios que se tuvieron en cuenta para seleccionar los equipos idóneos para el proyecto, se presentaran los requerimientos que como usuario final planteo la empresa y los requerimientos técnicos que en conjunto se plantearon entre la empresa y los autores del proyecto.

Requerimientos generales de usuario.

- Resistente a la intemperie. Con este requerimiento se busca que las sondas y los equipos necesarios para su funcionamiento (controlador, cables, soportes, etc.) puedan ser instalados al aire libre, debido que se requieren instalar en un lugar abierto donde los equipos estarían expuestos a lluvia, polvo y humedad. En el caso del analizador de aluminio sería ubicado junto a los analizadores de Cloro, pH y Turbiedad que existen en la actualidad y están ubicados en la parte anterior del edificio central de la planta (plano 1).
- Resistente a entornos corrosivos (éste criterio no aplica para el analizador de Aluminio). Se requiere que las sondas sean sumergidas en lugares donde el pH es muy variable y por lo general se mantiene en un nivel inferior a 7.0 durante casi todo el proceso de tratamiento del agua, lo cual hace que las sondas para garantizar un buen funcionamiento deban estar construidas de un material resistente a la corrosión que evite que la electrónica del equipo se vea perjudicada. Para el analizador de Aluminio no aplica este criterio debido a que la fuente de la muestra de agua es la Cisterna, y allí por lo general el pH se mantiene por encima de 7.0.
- Sumergible en el sitio de muestreo (éste criterio no aplica para el analizador de Aluminio). Se busca que la sonda este en capacidad de ser sumergida en los lugares de muestreo (Desarenador, Cadíca y Decantadores) que son lugares abiertos. Se quiere evitar costos generados por la instalación de sistemas de Tuberías para tomar las muestras, porque no resultaría cómodo cuando se van a utilizar 16 sondas, donde cada una está sensando parámetros diferentes en distintos sitios.
- Inmune a la interferencia. Se trata de buscar equipos que garanticen que las señales instrumentales que se generan con el sensado, no se modifiquen ó cambien abruptamente debido a interferencias electromagnéticas inducidas por otras sondas, controladores, redes eléctricas o señales de radio cercanas,

lo cual generaría lecturas erróneas y bajaría la confiabilidad del equipo para una futura automatización del proceso de potabilización.

- Poco mantenimiento. Se necesitan equipos que no requieran mayor mantenimiento debido a que esto genera mayores costos para la empresa y requeriría de mayor ocupación por parte de los técnicos en labores de limpieza de los equipos y reposición de componentes, generando pérdida de tiempo y dinero injustificados. Según experiencias pasadas de los técnicos de la planta con otras sondas, muchas de ellas requerían de largas jornadas de mantenimiento (limpieza, reposición de reactivos al interior del equipo, cambio de sellos, calibrado y puesta en marcha).
- Salida digital (éste criterio no aplica para el analizador de Aluminio). Cuando se planteo el proyecto por parte del Jefe de Instrumentación de las Plantas de Acueducto de EMCALI (Ingeniero Luís Ángel Tobón – Coordinador en la empresa) se pidió investigar sensores o sondas que tuvieran salida digital, debido a que se habían probado equipos con estas señales en otros proyectos y habían quedado muy satisfechos con el desempeño, la precisión y la fiabilidad de los datos entregados por estas sondas.
- Visualización en campo de la medida. Con este requerimiento se pretende que aparte de ser visualizada la medida en el laboratorio a través de un PC (Por medio de un SCADA), también se puedan visualizar las medidas y configurar los equipos a través de una interfase de usuario cerca del sitio de sensado, lo que facilitaría los trabajos mantenimiento ó calibración a los técnicos (Instrumentistas), evitando desplazar el sensor hasta el controlador o la interfase de usuario de la sonda que en la mayoría de los casos se encuentran ubicados en interiores.
- Poco cableado (éste criterio no aplica para el analizador de Aluminio). Lo que se busca con este requerimiento es evitar tener que utilizar cableado para alimentar la sonda, cableado para la señal, cableado para alimentar la interfase de la sonda y aun más cable si se requiere centralizar la información

(Cableado de red). Para el caso del analizador de Aluminio éste criterio no es muy crítico debido a que la mayoría de estos equipos tienen el sensor y la interfase de usuario compartiendo la misma carcasa, donde el único cable necesario para su funcionamiento es el de alimentación.

Requerimientos de usuario particulares.

- Lectura en entornos lodosos (Sonda de Turbiedad). Se requieren sondas de Turbiedad para ser ubicadas en dos sitios donde el nivel de lodos es muy alto, el Desarenador y la Cadíca, en estos lugares el agua no ha sido tratada y transporta gran cantidad de sedimentos provenientes del Río Cauca; aunque también se requiere ubicar sondas en los Decantadores el nivel de lodos y sedimentos en éstos lugares es mucho más bajo, pero de igual manera con el paso del tiempo se pueden acumular sedimentos en los equipos, que podrían causar lecturas erróneas y mal funcionamiento si no están diseñados para trabajar en estos ambientes.
- Electrodo durable (Sonda de pH). La mayoría de las sondas miden el valor de pH mediante un electrodo de vidrio (ánodo) y un electrodo de Titanio (Cátodo ó electrodo de referencia). El electrodo de vidrio convierte la energía química (actividad de iones de hidrógeno) en energía eléctrica (en milivoltios). El electrodo de vidrio en muchas sondas posee un tiempo de vida muy corto y se hace necesario estar remplazándolo trimestral o semestralmente generando costos para el mantenimiento de la sonda, lo que se pretende es buscar una sonda que tenga un tiempo de vida más en su electrodo de vidrio y todos sus componentes.
- Bajo Costo en los reactivos para muestrear el agua (Analizador de Aluminio). La mayoría de los analizadores químicos del mercado utilizan reactivos ó indicadores químicos que son mezclados con el agua a muestrear para obtener el valor de la variable que se requiere medir. La mayoría de los reactivos se consumen en periodos que van de uno a seis meses y por lo general tienen un costo alto en relación al precio del equipo, ya que sin ellos

no puede trabajar el analizador, por ello se busca que el costo de estos insumos sea bajo.

Requerimientos técnicos generales.

- Las especificaciones técnicas para las sondas de Turbiedad y pH poseen cuatro parámetros, dos de los cuales fueron definidos por el Jefe de instrumentación y el Operador, quienes se basaron en su experiencia y en los “Registros diarios de tratamiento” (Son las tablas de registro donde se llevan los datos arrojados por los equipos de laboratorio – se registran datos cada cuatro horas) para definir el rango de trabajo y la precisión de las sondas. Los dos parámetros restantes fueron dados basándose en el Decreto 475 de 1998 del ministerio de salud de Colombia (para mayor información sobre el decreto ir al anexo 9).
- Las especificaciones técnicas de la sonda de Oxígeno Disuelto solo están dadas por los parámetros dados por los usuarios (Rango de trabajo y precisión), debido a que en el decreto 475 de 1998 no se define un valor máximo ó mínimo para el nivel de Oxígeno en el agua.
- Con el analizador de Aluminio solo se tuvieron en cuenta como parámetros técnicos, las disposiciones dadas en el decreto 475 de 1998, debido a que su función primordial es garantizar niveles seguros de Aluminio en el agua potable que produce la Planta.

Selección de la sondas.

Los criterios de selección del sistema de sondas y el analizador de Aluminio fueron definidos con Jefe de Instrumentación de las plantas de Acueducto de EMCALI, un Operador de la Planta y los dos Pasantes encargados del proyecto. Este grupo definió y dio peso (en porcentaje) a cada uno de los requerimientos con los que debía cumplir cada uno de los equipos del proyecto (Plasmados en una matriz de ponderación de criterios). Cada una de las cuatro personas le dio porcentaje a cada uno de los requerimientos según su conocimiento y experiencia, se promediaron los porcentajes para darle un peso final a cada criterio, con el, se creo una matriz de evaluación en donde se calificó (solo los pasantes) las características de cada equipo con una nota de 1 a 5 teniendo en cuenta la información entregada por el proveedor del equipo y por el fabricante, las notas obtenidas en cada criterio se multiplicaron por el porcentaje (peso) de cada criterio y el resultado ó criterio ponderado se sumo, el equipo que obtuviera la mayor calificación era el seleccionado.

Selección de las sondas de Turbiedad. Para las sondas de turbiedad se presentan dos análisis, el primero para las sondas que se ubicaran en el Desarenador y la Cadíca, y el segundo para los decantadores. El análisis se presenta de ésta forma debido a que en el Desarenador y la Cadíca los niveles de Turbiedad básicamente son los mismos, porque el agua pobremente se sedimenta en el desarenador y de la misma manera es enviada a la Cadíca, en cambio en los decantadores es nivel de Turbiedad disminuye abruptamente cuando reaccionan los coagulantes agregados en un proceso anterior, que causan que el material particulado se sedimente y clarifique el agua.

Tabla 3. Ponderación de las sondas de Turbiedad (Para todas las sondas de turbiedad).

Sondas de Turbiedad						
	Criterios de selección	% A	% G	% J	% L	% Promedio
Requerimientos de usuario.						
1	Resistente a la intemperie.	10	2	5	6	5,75
2	Resistente a entornos corrosivos (pH bajos).	6	7	5	6	6,00
3	Sumergible en el sitio de muestreo.	6	10	2	10	7,00
4	Inmune a la interferencia (Contaminación Electromagnética).	10	8	2	6	6,50
5	Poco mantenimiento.	10	8	2	10	7,50
6	Salida digital.	10	15	2	10	9,25
7	Visualización en campo de la medida.	10	3	8	6	6,75
8	Poco cableado.	5	3	2	10	5,00
9	Lectura en entornos lodosos.	5	8	8	6	6,75
Requerimientos técnicos.						
10	Rango de trabajo (0 – 1000) NTU para el Desarenador y la Cadica. Rango de trabajo (0 - 10) NTU para los decantadores	10	15	20	10	13,75
11	Precisión ± 0.01 NTU.	10	15	20	10	13,75
12	Rango de lectura (0 - 5) NTU – según artículo 7 del decreto 475/98.	4	3	12	5	6,00
13	Precisión de lectura ± 0.5 – según artículo 1, definición 26, párrafo 2.	4	3	12	5	6,00
Total		100	100	100	100	100

* Para entregar el peso final (porcentaje promedio) que se da a cada uno de los criterios de selección, se consultó a un grupo interdisciplinario conformado por uno de los operadores del laboratorio, el jefe de instrumentación y los dos pasantes del proyecto, quienes definieron los requerimientos que debía cumplir el equipo y su importancia o peso en la selección del mismo. A continuación se indica el significado de cada una de las siglas usadas en la anterior tabla.

% A = Pasante - Alexander Quijano.
 % G = Pasante - Guillermo González.
 % J = Operador – Juan Carlos Ordóñez.

% L = Jefe de instrumentación – Luís Ángel Tobón.
 NTU = Unidades Técnicas Nefelométricas
 pH = Potencial de Hidrogeno.

En la tabla 4 se puede apreciar claramente los parámetros y características que posee cada una de las sondas propuestas.

Tabla 4. Comparación de las sondas SOLITAX SC y VISOTURB 700IQ.

Característica	Sonda de Turbiedad SOLITAX SC	Sonda de Turbiedad VISOTURB 700 IQ
Rango de trabajo.	0,000 a 4000NTU.	0,05 a 4000NTU.
Precisión.	±0,001NTU.	±1NTU.
Método de medición.	Procedimiento de luz difusa dúo infrarroja para la medición de turbiedades sin dependencia del color (según DIN EN 27027).	Procedimiento de luz difusa infrarroja con único receptor ubicado a 90° del emisor para la medición de turbiedades sin dependencia del color (según DIN EN 27027).
Sistema de Autolimpiado.	Limpieza de la ventana de cuarzo a través de una plumilla mecánica recubierta con goma.	Limpieza de la ventana de zafiro a través de ultrasonido.
Salida digital.	PROFIBUS DP ó MODBUS RTU.	Protocolo propietario.
Tipo de protección.	IP 65.	IP 68 (Inmersión permanente).
Inmunidad al ruido	Certificación EN 61326, IEC 1000-4-2:1995 / EN 61000-4-2:1995, IEC 1000-4-3:1995 / EN 61000-4-3:1996, IEC 1000-4-4:1995 / EN 61000-4-4:1995, IEC 1000-4-5:1995 / EN 61000-4-5:1995) IEC 1000-4-11:1994 / EN 61000-4-11:1994. También cumple con la parte 15 de las reglas de la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos.	Certificación EN 61326 clase B, FCC clase A y Namur NE 21.
Cableado.	Como se muestra en la figura 51, la conexión entre sonda y controlador es punto a punto, usando un cable de sonda compuesto por un par de hilos trenzados de calibre 24AWG y un par de hilos calibre 22AWG para alimentación. Para conectar en red varios controladores, se utiliza un cable de red típico con un par de hilos trenzados calibre 24AWG y conectores DB-9 (Apto para RS-485).	Como se muestra en la figura 65, la sonda se conecta a una caja de unión con capacidad para las dos sondas a través de un cable propietario (dado por el fabricante) compuesto por tres hilos de 0,75mm ² de área transversal (calibre no comercial), dos de ellos brindan alimentación y transmisión de datos a la sonda y el otro se utiliza para brindar protección a las sondas contra sobrecargas (conexión a polo a tierra). Las

		cajas de unión brindan acceso al Bus propietario (IQ Sensor Net) las cuales se conectan al controlador principal a través del mismo tipo de cable propietario.
Controlador de las sondas.	El controlador central (SC 1000) se encarga de administrar la información generada por las sondas y controlarlas, posee funciones típicas de control (P, PI, PID) y tiene la capacidad de manejar un máximo de 8 sondas por controlador. Se pueden conectar varios controladores en red y se puede llegar a manejar muchas más sondas. Posee tarjetas de Bus de Campo compatibles con los protocolos MODBUS RTU y PROFIBUS DP. Para mayor información sobre el controlador ir a los anexos.	Posee un controlador central (MIQ/MC) que se encarga de administrar la información generada por las sondas y controlarlas a través del Bus propietario, tiene la capacidad de administrar un máximo de 20 sondas. Al controlador se acopla un modulo de alimentación (MIQ/PS - entrega 24V) que le permite al controlador alimentar el sistema a través del Bus. El controlador permite la comunicación externa a través de RS-232 ó RS-485 para funcionamiento con MODEM o PROFIBUS DP, para integrar el sistema a un Bus de Campo. Para mayor información sobre el controlador ir a los anexos.
Visualización.	Posee una pantalla a color QVGA de 320 x 240 píxeles sensible al tacto, que puede ser acoplada en todos los controladores SC 1000 que se encuentren conectados en red, lo que permite instalar los controladores en campo y al mismo tiempo visualizar las variables cerca del lugar de medida. Tiene la capacidad de almacenar los datos generados por el sistema (por días, semanas o meses), los cuales son utilizados para crear gráficas estadísticas sobre el comportamiento de las variables. Posee un teléfono tri-banda GSM que permite configuración, descarga de datos y diagnostico de errores a distancia, también posee un puerto ethernet y un puerto infrarrojo para descarga de datos. Se pueden visualizar	Posee una pantalla en blanco y negro de 320 x 240 píxeles con teclado, que puede ser desplazada por todo el sistema y acoplada en cada uno de los módulos de unión, permitiéndole estar cerca de cada una de las sondas. Tiene la capacidad de almacenar los datos generados por el sistema (por días, semanas o meses), los cuales son utilizados para crear gráficas estadísticas sobre el comportamiento de las variables. Puede visualizar todos los 20 parámetros generados, y a través de ella se pueden configurar y calibrar las sondas. Para mayor información sobre el equipo ir a los anexos

	hasta cuatro medidas por pantallazo. Para mayor información sobre el equipo ir a los anexos	
Controlador de sonda para la sonda de Turbiedad del desarenador.	El controlador SC-100 permite manejar hasta dos sondas digitales, posee una pantalla en blanco y negro integrada al controlador que permite visualizar el valor medido y la temperatura ambiente. La pantalla permite la configuración y calibración de las sondas, posee salida de Bus de Campo a través de protocolos PROFIBUS DP ó MODBUS RTU. Para mayor información sobre el controlador ir a los anexos.	El controlador C182 permite manejar hasta dos sondas digitales IQ sensor Net, posee una pantalla integrada al controlador en blanco y negro de 128 x 64 píxeles que permite visualizar las dos variables medidas al mismo tiempo. El controlador posee salida de Bus de Campo PROFIBUS DP ó MODBUS RTU. A través de la pantalla se puede configurar y calibrar las sondas. Para mayor información sobre el controlador ir a los anexos.
Materiales de la sonda.	<ul style="list-style-type: none"> -Ventana de medición en cuarzo. -Carcasa de la sonda en PVC negro. -Juntas tóricas (portador óptico, plumilla) en NBR 70 (Caucho de nitrilo acrílico y butadieno) -Braso de la plumilla en acero inoxidable. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ventana de medición en zafiro. -Carcasa de la sonda en Acero inoxidable 1.4571 o PVC negro.
Proveedor.	CEIINC Ltda.	B&C Biosciences Ltda (Bogotá).
Tiempo de entrega del equipo.	5 a 7 semanas.	6 a 8 semanas.
Tiempo de reposición.	<ul style="list-style-type: none"> -Stock 5 días. -Fábrica 15 días. 	1 a 2 meses.
Garantía.	3 años.	1 año.
Precio.	8'537.971 incluido IVA (3.345,60 dólares)	9'802.000 incluido IVA.

Para mayor información sobre la Sonda de Turbiedad VISOTURB 700 IQ, los controladores T2020 y C182 de WTW, ir al anexo 4.

En la siguiente tabla se evalúan las sondas propuestas respecto a los criterios de selección planteados.

Tabla 5. Matriz de evaluación de las sondas de Turbiedad (Desarenador y Cadica).

			Variantes de concepto			
			A		B	
	Criterios de selección.	% promedio	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
1	Resistente a la intemperie.	5,75	5	0,29	5	0,29
2	Resistente a entornos corrosivos (pH bajos).	6,00	5	0,30	5	0,30
3	Sumergible en el sitio de muestreo.	7,00	3	0,21	5	0,35
4	Inmune a la interferencia (Contaminación Electromagnética).	6,50	5	0,32	5	0,32
5	Poco mantenimiento.	7,50	5	0,38	5	0,38
6	Salida digital.	9,25	5	0,46	3	0,28
7	Visualización en campo de la medida.	6,75	5	0,34	5	0,34
8	Poco cableado.	5,00	3	0,15	5	0,25
9	Lectura en entornos lodosos.	6,75	4	0,27	5	0,34
10	Rango de trabajo (0 - 1000) NTU.	13,75	5	0,69	5	0,69
11	Precisión ± 0.01 NTU.	13,75	5	0,69	2	0,28
12	Rango de lectura (0 - 5) NTU – según artículo 7 del decreto 475/98.	6,00	5	0,30	5	0,30
13	Precisión de lectura ± 0.5 – según artículo 1, definición 26, párrafo 2.	6,00	5	0,30	5	0,30
TOTAL				4,70		4,42
Orden				1		2
¿Continúa?				si		no

Concepto A = Sonda de Turbiedad SOLITAX SC (Fabricante – HACH).

Concepto B = Sonda de Turbiedad VISOTURB 700 IQ(Fabricante – WTW).

Acotaciones.

A continuación se hará referencia y aclaración de los puntajes más bajos obtenidos por cada de una de las sondas en la tabla de evaluación de conceptos, los cuales fueron críticos para la selección del instrumento idóneo:

Sonda de Turbiedad SOLITAX SC.

Criterio 3 (Sumergible en el sitio de muestreo): En la tabla de evaluación de conceptos a este ítem se le dio una valoración de tres. Según las especificaciones del fabricante garantiza que la sonda puede ser sumergida hasta 13cm (Especificaciones Técnicas de la sonda – Anexos) y soportar una presión de 6 bar debido a que la sonda posee un sello de seguridad en caucho NBR 70 (Caucho de nitrilo acrílico y butadieno). Según las especificaciones técnicas dadas por el fabricante la sonda posee una protección integrada tipo IP 65, “la cual protege contra chorros de agua lanzados desde varias direcciones y contra polvo”, pero no protege contra inmersiones prolongadas en agua como la IP 68. Recomendamos instalar la sonda de forma vertical y fija, sumergiendo solo la cabeza de esta para garantizar una lectura constante y evitar el daño de la sonda por el rompimiento del sello que protege la parte electrónica de esta.

Criterio 8 (Poco cableado): La calificación dada para este criterio fue de tres, debido a que el uso de esta sonda y la distribución de equipos que se genera con este sistema, no son muy distintos de los obtenidos con una sonda ó sistema convencional. El cable de conexión que se utiliza entre la sonda y el controlador de la sonda (Quien se encarga de alimentar la sonda, adquirir los datos, visualizarlos y compartirlos en red) esta compuesto por dos pares de cables de la siguiente manera.

- 1 par tipo 22 AWG (Diámetro: 0.644mm) a 12VDC, por el cual se alimenta la sonda desde el controlador.
- 1 par trenzado con apantallamiento tipo 24 AWG (Diámetro: 0.511mm), para transmisión y recolección de datos.

La conexión que se realiza entre las sondas y el controlador de estas, es punto a punto, lo que implica llevar un cable desde el controlador a la sonda para cada una de ellas. Si se desea utilizar más de ocho sondas (límite por controlador) se debe

conectar en red otro controlador a través de un enlace serial RS - 485 para agregar más dispositivos. A esto hay que agregar los cables de potencia de los controladores, que dado el caso no se encuentren a una red eléctrica cercana acarrearía más costos de cableado al proyecto. En el caso particular del proyecto (planos 1 y 2) el cableado de potencia no acarreará costos adicionales, debido a que sobre el barandaje que pasa por en medio de los decantadores existe una red eléctrica preinstalada y cerca al punto de ubicación de cada uno de los controladores un toma eléctrico.

Criterio 9 (Lectura en entornos lodosos): A este criterio se le dio una calificación de cuatro. Esta sonda al igual que muchas de su tipo posee una ventana óptica de cuarzo, que cuando no se limpia frecuentemente, genera lecturas erróneas en los sensores al interior de la ventana; para ello las sondas de este tipo posee sistemas de auto limpieza a través de ultrasonido ó plumillas de goma. La calificación dada se debe a que la sonda SOLITAX SC posee un sistema de auto limpiado de plumilla, que resulta muy efectivo en entornos donde el agua a pesar de ser turbia no posee mucho material suspendido (Hojas, pedazos de bolsa, etc.), pero en sitios como el Desarenador y la Cadíca el material suspendido que no es retenido por los enmallados existentes, podría acumularse y causar obstrucción en el brazo mecánico que maneja la plumilla y en ultimas permitiría la acumulación de sedimentos en la ventana óptica de la sonda llevando a lecturas erróneas, por lo que se recomienda realizar un mantenimiento preventivo quincenal al igual que hacer el cambio de plumilla anualmente.

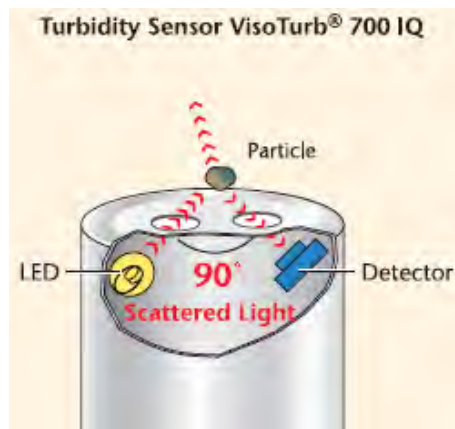
Sonda de Turbiedad VISOTURB 700 IQ.

Criterio 6 (Salida digital): Según los requerimientos de la empresa uno de los criterios que se utilizó para seleccionar la sonda idónea es que tuviera salida digital. Trato de buscarse sondas que a pesar de cumplir con el requerimiento utilizaran un protocolo abierto para transmitir la información a los controladores y fuera el mismo para todos los niveles de comunicación de los equipos a utilizar. La sonda VISOTURB 700 IQ utiliza un protocolo propietario para comunicarse con el controlador de todo el sistema del cual el proveedor y el fabricante no dan mayor

información; por ello el puntaje que se le dio fue una calificación media, pues de una u otra forma cumple con el requerimiento de tener salida digital.

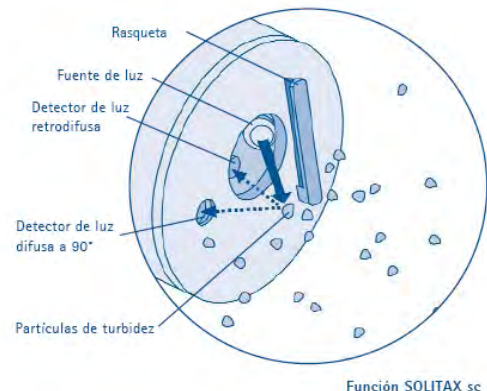
Criterio 11 (Precisión): La calificación de este criterio para la sonda fue dos. Según las especificaciones técnicas el equipo posee rangos de trabajo variable (ver tabla 6) para cada rango la precisión varia, cuando la sonda trabaja en rangos entre 0 y 400NTU ó entre 0 y 4000NTU la precisión es de 1NTU. La Sonda VISOTURB 700 IQ (como se muestra en la figura 29) utiliza un led que transmite luz infrarroja con una longitud de onda de 860nm (Según DIN EN 27027 e ISO 7027 para lectura de Turbiedad) la cual choca con la partícula que tiene en frente y la refleja a un receptor ubicado a 90°. El problema que se presenta con este método es que las partículas no tienen formas definidas y no siempre van a reflejar la luz en una sola dirección, por lo que se podría no detectar algunas partículas y por ende reducir la verdadera precisión del instrumento, por ello se hace necesario al menos otro sensor que detecte esos asos de luz difusa (las partículas absorben luz) que se pasan por alto con un solo sensor. Esta última parte la cumple plenamente la sonda SOLITAX SC (véase figura 30) pues posee un sensor adicional que le permite mejorar la precisión de la medida (0,001NTU).

Figura 29. Principio de medición de la sonda VISOTURB 700 IQ.



Fuente: WTW. IQsensor Net [en línea]. Weilheim: WTW, 2005. [Consultado 28 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.wtw.com>

Figura 30. Principio de medición de la sonda SOLITAX SC.



HACH. SC1000 [en línea]. Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com>

Tabla 6. Precisión de la Sonda de Turbiedad VISOTURB 700 IQ.

Unidades	Rango de medición	Precisión
NTU, FNU, TEF	0 – 0,400	±0,001
	0 – 4,00	±0,01
	0 – 40,0	±0,1
	0 – 400	±1
	0 – 4000	±1

En la siguiente tabla se evalúan las sondas propuestas respecto a los criterios de selección planteados.

Tabla 7. Matriz de evaluación de la sonda de Turbiedad (Decantadores 1 - 6).

			Concepto A		Concepto B	
	Criterios de selección	% promedio	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
1	Resistente a la intemperie.	5,75	5	0.29	5	0.29
2	Resistente a entornos corrosivos (pH bajos).	6,00	5	0.30	5	0.30
3	Sumergible en el sitio de muestreo.	7,00	3	0.21	5	0.35
4	Inmune a la interferencia (Contaminación Electromagnética).	6,50	5	0.32	5	0.32
5	Poco mantenimiento.	7,50	5	0.38	5	0.38
6	Salida digital.	9,25	5	0.46	3	0.28
7	Visualización en campo de la medida.	6,75	5	0.34	5	0.34
8	Poco cableado.	5,00	3	0.15	5	0.25
9	Lectura en entornos lodosos.	6,75	5	0.34	5	0.34
10	Rango de trabajo (0 - 10) NTU.	13,75	5	0.69	5	0.69
11	Precisión ±0.01 NTU.	13,75	5	0.69	2	0.41
12	Rango de lectura (0 - 5) NTU – según artículo 7 del decreto 475/98.	6,00	5	0.30	5	0.30
13	Precisión de lectura ±0.5 – según artículo 1, definición 26, párrafo 2.	6,00	5	0.30	5	0.30
TOTAL				4.77		4.42
Orden				1		2
¿Continúa?				Si		No

Concepto A = Sonda de Turbiedad SOLITAX SC (Fabricante – HACH).

Concepto B = Sonda de Turbiedad VISOTURB 700 IQ (Fabricante – WTW).

Acotaciones

Sonda de Turbiedad SOLITAX SC.

Criterio 9 (Lectura en entornos lodosos): El único valor que cambia en la selección de la sonda de Turbiedad de los Decantadores con respecto a la Cadíca y el Desarenador es el criterio 9 (Aumenta). Como se había mostrado anteriormente el desempeño de la sonda se podría ver afectado al trabajar en entornos lodosos sin un adecuado mantenimiento y monitoreo de la misma, para el caso de los decantadores la sonda se colocará muy cerca de la orilla de los mismos como se observa en la figura 31, el agua allí es muy limpia y no hay materiales suspendidos (La Turbiedad en los decantadores 1, 2, 3 es de 7 a 10NTU y en los decantadores 4, 5 y 6 presentan una Turbiedad entre 4 y 5NTU), pues todos ellos se encuentran en el fondo del decantador sedimentados, entonces el desempeño de la sonda no se vería empañado por la obstrucción del brazo mecánico a causa de material suspendido.

Figura 31. Decantador.



Equipo seleccionado: Basándose en los resultados obtenidos en las matrices de evaluación de las sondas de Turbiedad (ver tablas 5 y 7) el instrumento seleccionado es la Sonda de Turbiedad SOLITAX SC – Fabricante HACH (ver figura 32).

Figura 32. Sonda SOLITAX SC.



Fuente: HACH. Solitax SC [en línea]. Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com>

En la tabla 8, se muestran las especificaciones técnicas del equipo seleccionado.

Tabla 8. Especificaciones Técnicas de la Sonda de Turbiedad SOLITAX SC (HACH).

	Característica	Valor
1	Método de medición.	La sonda de Turbiedad posee un emisor y dos receptores de luz infrarroja, que miden la dispersión de la luz debido a las partículas y al material suspendido en el agua; estos receptores se encuentran ubicados a 90° y 140° del emisor lo que aumenta la sensibilidad del equipo y garantiza la precisión de la medida.
2	Rango de trabajo.	0,000 a 4000 NTU.
3	Precisión de medición.	Turbiedad hasta 1000 FNU/NTU: -Sin calibración <5 % del valor de medición $\pm 0,001$ FNU/NTU. -Con calibración <1 % del valor de medición $\pm 0,001$ FNU/NTU.
4	Tiempo de respuesta	1 s a 300 s (ajustable).
5	Salida digital	PROFIBUS DP clase 1 o MODBUS RTU con conexión sonda controlador a través de cable de par trenzado AWG 22.
6	Sistema de autolimpiado.	Posee un sistema de autolimpiado programable por ciclos de limpieza, el cual permite tener la ventana de cuarzo libre de obstrucciones mediante una plumilla que retira los residuos que se van acumulando en ella. Cada plumilla posee un tiempo de vida de un año y viene con 5 repuestos (se recomienda su cambio cada 20000 ciclos).
7	Máxima presión sobre la sonda.	6bar.
8	Tipo de protección.	IP 65. Enchufe de la sonda con protección IP 67.
9	Tiempo de mantenimiento requerido.	Hacer una inspección visual del sensor mensualmente (si es necesario lavar con agua y jabón), chequear la calibración

		mensualmente (Depende del sitio de trabajo), cambiar los sellos ó juntas tóricas cada 2 años y cambiar la plumilla anualmente o cada 20 000 ciclos).
10	Calibración.	Punto cero ajustado en fábrica en forma permanente, para una nueva calibración se requiere un kit con una muestra estándar de 800NTU.
11	Longitud de cable.	10m, máximo 100m con cable de prolongación.
12	Materiales.	Cuerpo de la sonda en PVC, la ventana óptica del sensor es en cuarzo, juntas tóricas (portador óptico, plumilla) en NBR 70 (Caucho de nitrilo acrílico y butadieno) y brazo de la plumilla en acero inoxidable.
13	Temperatura de trabajo.	0°C a 40°C.
14	Dimensiones y peso.	6 x 20cm / 1,8kg.
16	Inmunidad al ruido.	El equipo está certificado contra EMC (Contaminación electromagnética) de nivel industrial certificación EN 61326, también es inmune a descargas electrostáticas (IEC 1000-4-2:1995 / EN 61000-4-2:1995), inmune a contaminación por radio frecuencia (IEC 1000-4-3:1995 / EN 61000-4-3:1996), transientes eléctricos (IEC 1000-4-4:1995 / EN 61000-4-4:1995), sobretensiones (IEC 1000-4-5:1995 / EN 61000-4-5:1995) e interrupciones cortas de voltaje (IEC 1000-4-11:1994 / EN 61000-4-11:1994). También cumple con la parte 15 de las reglas de la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos), según el cual el dispositivo no debe recibir interferencia externa y tampoco producirla a otros equipos.
17	Visualización.	A través de la pantalla SC1000 acoplada al controlador principal de las sondas. Pantalla gráfica a color (QVGA, 320 x 240 píxeles, 256 colores), sensible al tacto, portátil (se puede desplazar y acoplar sobre varios controladores de sonda comunicados en red), muestra los datos, curvas estadísticas de desempeño de las sondas, en un mismo pantallazo puede mostrar hasta 4 medidas de diferentes sondas y se puede mostrar en diferentes combinaciones los datos de 20 medidas, cada controlador tiene la capacidad de manejar un máximo de 8 sondas digitales, protección IP 65 que le permite al equipo ser instalado a la intemperie y posee un puerto Ethernet para descarga de datos. Para mayor información sobre el controlador y la pantalla del sistema SC1000 ir a los anexos.
18	Garantía de la sonda	3 años.
19	Precio	3.345,60 dólares aproximadamente 8'537.971 pesos (Taza representativa dólar 2200 pesos) incluido IVA del 16%.

Selección de las sondas de pH. Al igual que las sondas de turbiedad para las sondas de pH se presentan dos análisis, el primero para la sonda que se ubicará en la Cadíca, y el segundo para las sondas que se ubicarán en los decantadores. Se presenta de ésta forma debido a que en la Cadíca los niveles de pH se encuentran básicamente en un nivel neutro (alrededor de 7.0) pues no se le ha hecho tratamiento químico al agua (se aclara que en la Cadíca se agregan los químicos principales del proceso pero en el lugar donde se ubicarán los sensores es en una de las divisiones del tanque donde básicamente llega el agua y por

tanto no hay contacto con químico alguno), pero en los Decantadores el Cloro y otros químicos agregados en la Cadíca (División del tanque diferente al del lugar de sensado) reaccionan y bajan el nivel de pH en el agua, por lo tanto las condiciones de trabajo que se presentan en estos lugares son distintas.

Tabla 9. Ponderación para las sondas de pH (Para todas las sondas de pH).

Sonda de pH (Cadíca)						
	Criterios de selección	% A	% G	% J	% L	% Promedio
Requerimientos de usuario.						
1	Resistente a la intemperie.	8	2	5	6	5,25
2	Resistente a entornos corrosivos (pH bajos).	8	5	5	6	6,00
3	Sumergible en el sitio de muestreo.	8	10	2	6	6,50
4	Inmune a la interferencia (Contaminación Electromagnética).	8	8	2	6	6,00
5	Poco mantenimiento.	10	8	2	10	7,50
6	Salida digital.	10	15	2	10	9,25
7	Visualización en campo de la medida.	10	3	6	6	6,25
8	Poco cableado.	5	3	2	10	5,00
9	Electrodo durable	10	10	10	10	10,00
Requerimientos técnicos.						
10	Rango de trabajo (6.0 – 7.5)pH para la sonda de la Cadíca. Rango de trabajo (5 a 6,5)pH para las sonda de los Decantadores.	8	15	20	10	13,25
11	Precisión ± 0.1 pH.	8	15	20	10	13,25
12	Rango de lectura (6.5 – 9.0)pH – según artículo 10 del decreto 475/98.	4	3	12	5	6,00
13	Precisión de lectura ± 1 – según artículo 1, definición 26, párrafo 2.	3	3	12	5	5,75
Total		100	100	100	100	100

% A = Pasante - Alexander Quijano.

% G = Pasante - Guillermo González.

% J = Operador – Juan Carlos Ordóñez.

% L = Jefe de instrumentación – Luís Ángel Tobón.

pH = Potencial de Hidrogeno.

En la tabla 10 se puede apreciar claramente los parámetros y características que posee cada una de las sondas de pH propuestas.

Tabla 10. Comparación de las sondas Sonda DPD1P1 y SENSOLYT 700IQ.

Característica	Sonda de pH DPD1P1	Sonda de pH SENSOLYT 700IQ
Rango de trabajo.	0 a 14pH.	2 a 12 pH.
Precisión.	±0,005pH.	±0,01pH.
Método de medición.	El valor de pH es medido mediante un electrodo de vidrio y un electrodo de Titanio. El electrodo de vidrio convierte la energía química presente en el agua en energía eléctrica. Al interior de la sonda se encuentra una solución de referencia que esta siendo sensada por el electrodo de titanio, y la energía eléctrica que ésta genera es restada con la entregada por la sonda de vidrio.	El valor de pH es medido mediante un electrodo de vidrio en cuyo interior se encuentra un pequeño diafragma perforado con un electrolito sólido de gel de polímetro alrededor. Básicamente el electrodo de vidrio convierte la energía química presente en el agua en energía eléctrica y se le resta la señal eléctrica generada por el gel de polímetro (Sensada por el diafragma perforado) para entregar la señal eléctrica correspondiente a la medida.
Salida digital.	PROFIBUS DP ó MODBUS RTU.	Protocolo propietario.
Tipo de protección.	No dada por el fabricante.	IP 68 (Inmersión permanente).
Inmunidad al ruido	Certificación EN 61326, IEC 1000-4-2:1995 / EN 61000-4-2:1995, IEC 1000-4-3:1995 / EN 61000-4-3:1996, IEC 1000-4-4:1995 / EN 61000-4-4:1995, IEC 1000-4-5:1995 / EN 61000-4-5:1995) IEC 1000-4-11:1994 / EN 61000-4-11:1994. También cumple con la parte 15 de las reglas de la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos.	Certificación EN 61326 clase B, FCC clase A y Namur NE 21.
Cableado.	El mismo utilizado para la sonda de turbiedad SOLITAX SC.	El mismo utilizado para la sonda de turbiedad VISOTURB 700IQ.
Controlador de las sondas.	El mismo utilizado para la sonda de turbiedad SOLITAX SC.	El mismo utilizado para la sonda de turbiedad VISOTURB 700IQ.
Visualización.	La misma de la sonda de turbiedad SOLITAX SC.	La misma de la sonda de turbiedad VISOTURB 700IQ.

Materiales de la sonda.	-Carcasa de la sonda en PEEK. -Ventana de medición en cuarzo. -Electrodo de cristal. -Cabezal en Kynar. -Sellamientos en Viton.	-Carcasa de la sonda en Acero inoxidable 1.4571 o PVC negro. -Cabezal en PVC. -Electrodo de vidrio con electrolito de gel de polímetro y doble diafragma.
Proveedor.	CEIINC Ltda.	B&C Biosciences Ltda (Bogotá).
Tiempo de entrega del equipo.	5 a 7 semanas.	6 a 8 semanas.
Tiempo de reposición.	-Stock 5 días. -Fábrica 15 días.	1 a 2 meses.
Garantía.	30 meses para la sonda y el electrodo.	-1 año para la sonda -6 meses para el electrodo.
Precio.	2'407.046 incluido IVA (943,20 dólares)	5'162.000 incluido IVA.

Para mayor información sobre la sonda de pH SENSOLYT 700IQ y el controlador T2020 de WTW, ir al anexo 4.

En la siguiente tabla se evalúan las sondas de pH propuestas respecto a los criterios de selección planteados.

Tabla 11. Matriz de evaluación de la sonda de pH (Cadica).

			Variantes de concepto			
			A		B	
	Criterios de selección.	% promedio	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
1	Resistente a la intemperie.	5,25	5	0,26	5	0,26
2	Resistente a entornos corrosivos (pH bajos).	6,00	5	0,30	5	0,30
3	Sumergible en el sitio de muestreo.	6,50	4	0,26	5	0,32
4	Inmune a la interferencia (Contaminación Electromagnética).	6,00	5	0,30	5	0,30
5	Poco mantenimiento.	7,50	5	0,38	5	0,38
6	Salida digital.	9,25	5	0,46	5	0,46
7	Visualización en campo de la medida.	6,25	5	0,31	5	0,31
8	Poco cableado.	5,00	3	0,15	5	0,25
9	Electrodo durable	10,00	5	0,50	3	0,30
10	Rango de trabajo (6 – 7.5)pH.	13,25	5	0,66	5	0,66
11	Precisión ± 0.1 pH.	13,25	5	0,66	4	0,53
12	Rango de lectura (6.5 – 9.0)pH – según artículo 10 del decreto 475/98.	6,00	5	0,30	5	0,30
13	Precisión de lectura ± 1 – según artículo 1, definición 26, párrafo 2.	5,75	5	0,29	5	0,29
TOTAL				4,83		4,66
Orden				1		2
¿Continúa?				Si		No

Concepto A = Sonda de pH DPD1P1 (Fabricante – HACH).

Concepto B = Sonda de pH SensoLyt 700IQ (Fabricante – WTW).

Acotaciones

Al igual que en las sondas de turbiedad se aclararan los menores puntajes obtenidos por cada una de las sondas.

Sonda de pH DPD1P1.

Criterio 3 (Sumergible en el sitio de muestreo): La sonda en este criterio tuvo una calificación de 4. El puntaje se debe al tipo de material que cubre la sonda, el PEEK, según las especificaciones del proveedor la sonda puede ser sumergida sin ningún tipo de protección adicional, pero las investigaciones arrojaron que el PEEK no es apto para sumersiones prolongadas (Véase tabla 12) pues se crea humedad al interior de la sonda lo que podría acarrear daños en la electrónica del equipo; se investigo directamente con el fabricante y ofrece una montura con protección para la sonda en Teflón (ver figura 33), la cual solo deja expuesta la cabeza del sensor para la toma de la medida requerida e impermeabiliza el resto del equipo, el costo de la montura esta incluido en el costo final de la sonda. Como se muestra en la figura 34 la cabeza del sensor esta conformado por un electrodo de cristal (ánodo) protegido por un cabezal en Kynar (Termoplástico industrial impermeable, resistente a altas temperaturas y sitios con concentraciones altas en ácidos) y con sellamientos en Viton (Es un caucho sintético industrial utilizado para sellamientos, resistente a altas temperaturas y entornos corrosivos) lo que le permitiría al equipo con la ayuda de la montura en teflón, soportar inmersiones prolongadas en el sitio de la muestra.

Tabla 12. Propiedades Características del PEEK.

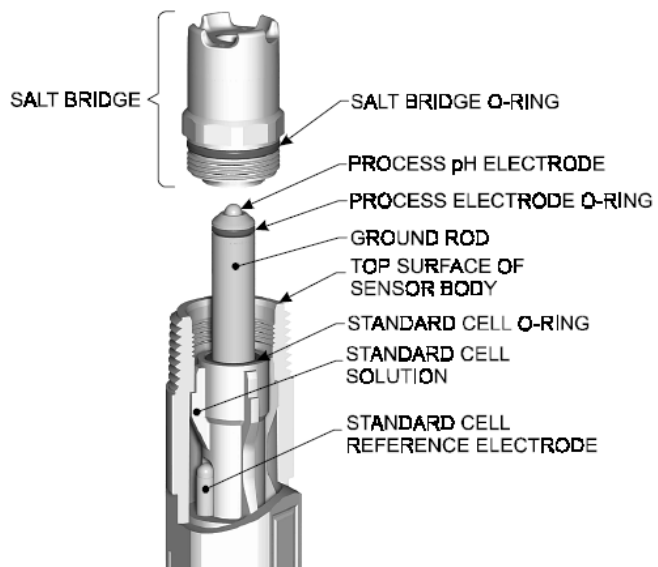
PROPIEDADES FÍSICAS	
Absorción de Agua - Equilibrio (%)	0,5
Absorción de Agua - en 24 horas (%)	0,1 - 0,3
Densidad (g cm ⁻³)	1,26 - 1,32
Inflamabilidad	V-0 @ 1,5mm
RESISTENCIA QUÍMICA	
Ácidos - concentrados	Regular
Ácidos - diluidos	Buena
Alcalinos	Buena
Alcoholes	Buena
Grasas y Aceites	Buena

Figura 33. Montaje de inmersión de la sonda de pH DPD1P1.



Fuente: HACH. DPD1P1 [en línea]. Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com>

Figura 34. Cabezal de la sonda de pH DPD1P1.



Fuente: HACH. DPD1P1 [en línea]. Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com>

Criterio 8 (Poco cableado): La calificación y las acotaciones que se hacen para esta sonda, son las mismas que se tuvieron en cuenta en el criterio 8 para la sonda de Turbiedad SOLITAX SC del mismo fabricante.

Sonda de pH SensoLyt 700IQ.

Criterio 9 (Electrodo durable): Uno de los problemas que ha tenido el personal de instrumentación con el desarrollo y mantenimiento de instrumentación analítica en otros proyectos en las plantas de Acueducto de Cali, es precisamente el tiempo de vida de algunos de los componentes de los instrumentos que se instalan. En otros proyectos donde instalaron sensores de pH (Instrumentación puerto mallarino) se toparon con el problema del tiempo de vida del electrodo de cristal de la sonda, el cual tenía un tiempo de vida inferior a un año. Por lo anterior a la sonda de pH

SensoLyte 700IQ se le da un puntaje de tres, pues los proveedores por la sonda dan una garantía de un año, pero para el electrodo la garantía es mucho menor (6 meses). Comparando la sonda SensoLyt 700IQ con la sonda DPD1P1, por ésta última se da una garantía de 30 meses para todos los componentes de la sonda (Incluido el electrodo).

Criterio 11 (Precisión 0.1pH): La calificación de este criterio para la sonda de pH SensoLyt 700 IQ (4 puntos), se dio tomando como comparativo la sonda de pH DPD1P1, la primera posee una precisión de 0,01pH y la segunda de 0,005pH.

En la siguiente tabla se evalúan las sondas de pH propuestas respecto a los criterios de selección planteados para las sondas que se ubicarán en los decantadores.

Tabla 13. Matriz de evaluación de la sonda de pH (Decantadores 1 - 6).

			Variantes de concepto			
			A		B	
	Criterios de selección	% promedio	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
1	Resistente a la intemperie.	5,25	5	0,26	5	0,26
2	Resistente a entornos corrosivos (pH bajos).	6,00	5	0,30	5	0,30
3	Sumergible en el sitio de muestreo.	6,50	4	0,26	5	0,32
4	Inmune a la interferencia (Contaminación Electromagnética).	6,00	5	0,30	5	0,30
5	Poco mantenimiento.	7,50	5	0,38	5	0,38
6	Salida digital.	9,25	5	0,46	5	0,46
7	Visualización en campo de la medida.	6,25	5	0,31	5	0,31
8	Poco cableado.	5,00	3	0,15	5	0,25
9	Electrodo durable	10,00	5	0,50	3	0,30
10	Rango de trabajo (5 a 6,5)pH.	13,25	5	0,66	5	0,53
11	Precisión ± 0.1 pH.	13,25	5	0,66	4	0,53
12	Rango de lectura (6.5 – 9.0)pH – según artículo 10 del decreto 475/98.	6,00	5	0,30	5	0,30
13	Precisión de lectura ± 1 – según artículo 1, definición 26, párrafo 2.	5,75	5	0,29	5	0,29
TOTAL				4,83		4,66
Orden				1		2
¿Continua?				Si		No

Concepto A = Sonda de pH DPD1P1 (Fabricante – HACH).

Concepto B = Sonda de pH SensoLyt 700IQ (Fabricante – WTW).

Acotaciones.

Las calificaciones de los criterios de selección para ambas sondas se mantienen iguales, debido a que las condiciones de trabajo en los decantadores básicamente son las mismas a excepción del rango de trabajo que cambia (5 a 6,5) pero ambas cumplen abiertamente con los requerimientos del usuario, la primera (sonda DPD1P1) con un rango de trabajo entre 0 a 14 y la segunda (sonda SensoLyt 700IQ) con un rango de trabajo de 2 a 12.

Equipo seleccionado: Basándose en los resultados obtenidos en las matrices de evaluación de las sondas de pH (ver tablas 11 y 13) el instrumento seleccionado es la sonda de pH DPD1P1 - Fabricante HACH

Figura 35. Sonda DPD1P1.



Fuente: HACH. DPD1P1 [en línea]. Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com>

En la tabla 14, se muestran las especificaciones técnicas del equipo seleccionado.

Tabla 14. Especificaciones Técnicas de la Sonda de pH DPD1P1 (HACH).

	Característica	Valor
1	Método de medición.	El valor de pH es medido mediante un electrodo de vidrio (ánodo) y un electrodo de Titanio (Cátodo) ó electrodo de referencia ubicado al interior de la sonda (véase figura 34). El electrodo de vidrio convierte la energía química (actividad de iones de hidrógeno) en energía eléctrica (en milivoltios). La reacción es simétrica y el circuito eléctrico se cierra mediante el flujo de iones desde una solución de referencia (Ubicada alrededor del electrodo de titanio al interior de la sonda) hacia el líquido objeto del sensado a través del electrodo de cristal.
2	Rango de trabajo.	0 a 14pH.
3	Precisión de medición.	±0,005pH.
4	Salida digital	PROFIBUS DP clase 1 o MODBUS RTU con conexión sonda controlador a través de cable de par trenzado AWG 22.
5	Máxima presión sobre la sonda.	100psi.
6	Compensación de temperatura.	Compensador interno NTC (Coeficiente de temperatura negativo) de 300Ω.
7	Longitud de cable.	10m, máximo 100m con cable de prolongación.
8	Materiales.	Cuerpo de la sonda en PEEK (Poliéterétercetona), cabeza del electrodo en Kynar (termoplástico industrial), sellos en Viton (caucho sintético industrial), ánodo en cristal (electrodo de proceso) y cátodo en Titanio.
9	Tiempo de mantenimiento requerido.	Chequear mensualmente el electrodo de cristal y los sellos, si es necesario limpiar con un trapo de algodón, si con esto no es suficiente se prepara una solución jabonosa (con un jabón no abrasivo que no contenga lanolin) se introduce el sensor durante 2 ó 3 minutos en la solución y luego se limpia con el trapo de algodón. También se debe chequear mensual o trimestralmente la calibración del equipo.
10	Temperatura de trabajo.	-5° C a 95° C.
11	Dimensiones.	27,1 x 3,5cm.
12	Inmunidad al ruido.	El equipo está certificado contra EMC (Contaminación electromagnética) de nivel industrial certificación EN 61326, también es inmune a descargas electrostáticas (IEC 1000-4-2:1995 / EN 61000-4-2:1995), inmune a contaminación por radio frecuencia (IEC 1000-4-3:1995 / EN 61000-4-3:1996), transientes eléctricos (IEC 1000-4-4:1995 / EN 61000-4-4:1995), sobretensiones (IEC 1000-4-5:1995 / EN 61000-4-5:1995) e interrupciones cortas de voltaje (IEC 1000-4-11:1994 / EN 61000-4-11:1994). También cumple con la parte 15 de las reglas de la FCC

		(Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos), según el cual el dispositivo no debe recibir interferencia externa y tampoco producirla a otros equipos.
13	Visualización.	A través de la pantalla SC1000 acoplada al controlador principal de las sondas. Pantalla gráfica a color (QVGA, 320 x 240 píxeles, 256), sensible al tacto, portátil (se puede desplazar y acoplar sobre varios controladores de sonda comunicados en red), muestra los datos, curvas estadísticas de desempeño de las sondas, en un mismo pantallazo puede mostrar hasta 4 medidas de diferentes sondas y se puede mostrar en diferentes combinaciones los datos de 20 medidas, cada controlador tiene la capacidad de manejar un máximo de 8 sondas digitales, protección IP 65 que le permite al equipo ser instalado a la intemperie y posee un puerto Ethernet para descarga de datos.
14	Garantía de la sonda	30 meses.
15	Precio.	943,20 dólares aproximadamente 2'407.046 pesos (Taza representativa dólar 2200 pesos) incluido IVA del 16%.

Selección de la sonda de Oxígeno Disuelto. En la selección de la sonda de Oxígeno disuelto básicamente se presenta un análisis debido a que solo se hace necesario ubicarla en la entrada de la Cadíca, de esta forma el equipo seleccionado tendrá que ajustarse a las condiciones de trabajo que allí se presentan. Para la selección del instrumento se sigue el mismo proceso de análisis usado en los otros equipos.

Tabla 15. Ponderación para la sonda de Oxígeno disuelto (Cadíca).

Sonda de Oxígeno disuelto (Cadíca)						
	Criterios de selección	% A	% G	% J	% L	% Promedio
Requerimientos de usuario.						
1.	Resistente a la intemperie.	12	2	10	8	8,00
2.	Resistente a entornos corrosivos (pH bajos).	8	5	10	8	7,75
3.	Sumergible en el sitio de muestreo.	9	10	4	8	7,75
4.	Inmune a la interferencia (Contaminación Electromagnética).	10	10	4	8	8,00
5.	Poco mantenimiento.	12	7	4	12	8,75
6.	Salida digital.	10	20	4	12	11,5
7.	Visualización en campo de la medida.	12	3	10	8	8,25
8.	Poco cableado.	7	3	4	12	6,50
Requerimientos técnicos.						
9.	Rango de trabajo (0 – 10)pmm.	10	20	25	12	16,75
10.	Precisión ± 0.1 pmm.	10	20	25	12	16,75
Total		100	100	100	100	100

% A = Pasante - Alexander Quijano.

% G = Pasante - Guillermo González.

% J = Operador – Juan Carlos Ordóñez.

% L = Jefe de instrumentación – Luís Ángel Tobón

En la siguiente tabla se muestra la comparación entre las sondas LDO y TRIOXMATIC 700IQ.

Tabla 16. Comparación de las sondas de Oxígeno disuelto

Característica	Sonda de Oxígeno Disuelto LDO	Sonda de Oxígeno Disuelto TRIOXMATIC 700IQ
Rango de trabajo.	0 a 20,00ppm.	0,05 a 4000NTU.
Precisión.	$\pm 0,1$ ppm.	$\pm 0,1$ ppm.
Método de medición.	La cabeza de la sonda está cubierta por un polímero el cual al ser emitida una luz azul por un led al interior de la sonda, el polímero se excita, y emite una luz roja cuando pasa al reposo que se registra por un fotodiodo, a mayor concentración de oxígeno en la superficie del polímero menor será la luz roja emitida al pasar al reposo.	La sonda trabaja con un sistema de tres electrodos (Uno de oro y dos de plata). En el cabezal se encuentra el cátodo (electrodo de oro) que entra en contacto con la solución a sensar, el cual, con la ayuda de uno de los electrodos de plata, genera una corriente eléctrica que se compara con la señal producida por el otro electrodo de plata que esta sensando una solución electrolítica de referencia, produciendo de esta forma la señal correspondiente al nivel de

		Oxígeno disuelto.
Salida digital.	PROFIBUS DP ó MODBUS RTU.	Protocolo propietario.
Tipo de protección.	No dada por el fabricante.	IP 68 (Inmersión permanente).
Inmunidad al ruido	Certificación EN 61326, IEC 1000-4-2:1995 / EN 61000-4-2:1995, IEC 1000-4-3:1995 / EN 61000-4-3:1996, IEC 1000-4-4:1995 / EN 61000-4-4:1995, IEC 1000-4-5:1995 / EN 61000-4-5:1995) IEC 1000-4-11:1994 / EN 61000-4-11:1994. También cumple con la parte 15 de las reglas de la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos.	Certificación EN 61326 clase B, FCC clase A y Namur NE 21.
Cableado.	El mismo utilizado para la sonda de turbiedad SOLITAX SC.	El mismo utilizado para la sonda de turbiedad VISOTURB 700IQ.
Controlador de las sondas.	El mismo utilizado para la sonda de turbiedad SOLITAX SC.	El mismo utilizado para la sonda de turbiedad VISOTURB 700IQ.
Visualización.	La misma de la sonda de turbiedad SOLITAX SC.	La misma de la sonda de turbiedad VISOTURB 700IQ.
Materiales de la sonda.	-Carcasa de la sonda en Acero Inoxidable 316. -Cabezal en Metaclorato de Polibutil. -Rosca superior de la sonda en NORYL.	-Carcasa de la sonda en Acero inoxidable 1.4571 o PVC negro. -Electrodos de oro (uno) y plata (dos). -Cabezal en POM (Polioximetileno).
Proveedor.	CEIINC Ltda.	B&C Biosciences Ltda (Bogotá).
Tiempo de entrega del equipo.	5 a 7 semanas.	6 a 8 semanas.
Tiempo de reposición.	-Stock 5 días. -Fábrica 15 días.	1 a 2 meses.
Garantía.	-3 años sonda. -1 año el cabezal.	1 año.
Precio.	3'817.792 incluido IVA (1.496 dólares)	5'684.000 incluido IVA.

Para mayor información sobre la sonda de Oxígeno Disuelto TRIOXMATIC 700IQ y el controlador T2020 de WTW, ir a anexo 4.

En la siguiente tabla se evalúan las sondas de Oxígeno Disuelto propuestas, respecto a los criterios de selección planteados.

Tabla 17. Matriz de evaluación de la sonda de Oxígeno disuelto (Cadica).

			Variantes de concepto			
			A		B	
	Criterios de selección.	% promedio	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
1.	Resistente a la intemperie.	8,00	5	0,40	5	0,40
2.	Resistente a entornos corrosivos (pH bajos).	7,75	5	0,38	5	0,38
3.	Sumergible en el sitio de muestreo.	7,75	5	0,38	5	0,38
4.	Inmune a la interferencia (Contaminación Electromagnética).	8,00	5	0,40	5	0,40
5.	Poco mantenimiento.	8,75	5	0,44	5	0,44
6.	Salida digital.	11,5	5	0,58	5	0,58
7.	Visualización en campo de la medida.	8,25	5	0,41	5	0,41
8.	Poco cableado.	6,50	3	0,20	5	0,33
9.	Rango de trabajo (0 – 10)ppm.	16,75	5	0,84	5	0,84
10.	Precisión ± 0.1 pmm.	16,75	5	0,84	5	0,84
TOTAL				4,87		5,00
Orden				2		1
¿Continúa?						

Concepto A = Sonda de Oxígeno Disuelto LDO SC (Fabricante – HACH).

Concepto B = Sonda de Oxígeno Disuelto TRIOXMATIC 700IQ (Fabricante – WTW).

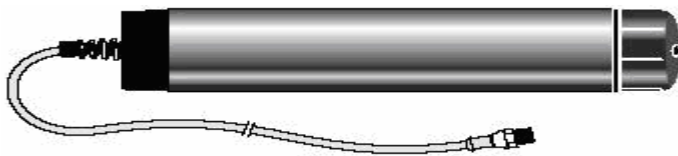
Acotaciones

Sonda de Oxígeno Disuelto LDO SC:

Criterio 9 (Poco Cableado): Debido a que ésta sonda trabaja con el mismo controlador que maneja las sondas de Turbiedad (SOLITAX SC) y pH (DPD1P1), la calificación es la misma dada para este criterio en las anteriores matrices de evaluación para los equipos del fabricante HACH. Recordemos que con este sistema el cableado entre la sonda y el controlador no es mayor al de conectar un cable de sonda, pero debido a la cantidad de equipos necesarios se hace indispensable utilizar más de dos controladores de sonda y es allí donde se ve la diferencia en el cableado del sistema, debido a que hay que alimentar cada controlador y adicional a ello utilizar cable serial RS-485 para conectar los equipos en red. Vale la pena recordar que no hay necesidad de adquirir cable adicional para alimentar los controladores, basta con los que trae el equipo de fábrica, porque por el sitio donde se van a instalar los controladores pasa una red eléctrica ya preinstalada.

Equipo seleccionado: Según la anterior matriz de evaluación la sonda que cumple con los requerimientos planteados por los usuarios es la sonda de Oxígeno Disuelto TRIOXMATIC 700IQ del fabricante WTW, pero en la selección de la sonda idónea también se tuvieron en cuenta otros dos factores que resultan muy importantes para la selección de equipos, el costo y la garantía del equipo. La sonda de Oxígeno Disuelto TRIOXMATIC 700IQ tiene un costo de 5'684.000 pesos (IVA incluido) con una garantía de un año, mientras la sonda de Oxígeno Disuelto LDO SC cuesta 3'817.792 pesos (1.496 dólares TRM 2200) y tiene una garantía de 3 años, por estos factores y porque el desempeño de ambos instrumentos es básicamente el mismo, se hace la selección de la sonda de Oxígeno Disuelto LDO SC (ver figura 36) como la idónea para este proyecto.

Figura 36. Sonda LDO.



Fuente: HACH. LDO sensor [en línea]. Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com>

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones técnicas del sensor de Oxígeno disuelto seleccionado.

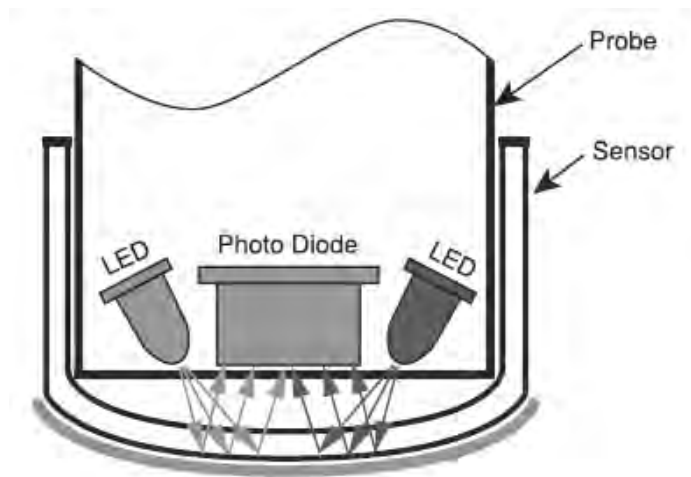
Tabla 18. Especificaciones Técnicas de la Sonda de Oxígeno Disuelto LDO SC (HACH).

	Característica	Valor
1	Método de medición.	La cabeza de la sonda LDO ((Luminescent Dissolved Oxygen – Procedimiento de luminiscencia para oxígeno disuelto) está cubierta por un polímero luminiscente (Metaclorato de Polibutil) el cual al ser emitida una luz azul por un led al interior de la sonda (ver figura 37), el polímero se excita, y emite una luz roja cuando pasa al reposo la cual es registrada por un fotodiodo, a mayor concentración de oxígeno en la superficie del polímero menor será la luz roja emitida al pasar al reposo. Al interior de la sonda también existe un diodo que emite luz roja el cual sirve como referencia para las medidas.
2	Rango de trabajo.	0 a 20,00ppm.
3	Precisión de medición.	$\pm 0,1$ ppm.
4	Rango de medición de temperatura.	0 a 50°C.
5	Precisión de la medida de temperatura.	$\pm 0,2$ °C.
6	Tiempo de respuesta.	60s.
7	Salida digital	PROFIBUS DP clase 1 o MODBUS RTU con conexión sonda controlador a través de cable de par trenzado AWG 22.
8	Máxima presión sobre la sonda.	1050KPa.
9	Longitud de cable.	10m, máximo 100m con cable de prolongación.
10	Materiales.	Cuerpo de la sonda en Acero Inoxidable 316, capuchón del sensor en Metaclorato de Polibutil y rosca superior (Entre la sonda y el cable) en NORYL (MEZCLA DE

		POLIÓXIDO DE FENILENO Y POLIESTIRENO).
11	Tiempo de mantenimiento requerido.	Limpiar el sensor trimestralmente con un choro de agua y un paño de algodón y reemplazar anualmente el capuchón del sensor para garantizar un buen desempeño. No requiere calibración.
12	Temperatura de trabajo.	0° C a 50° C.
13	Dimensiones y peso.	6 x 20cm / 1,8kg.
14	Inmunidad al ruido.	El equipo está certificado contra EMC (Contaminación electromagnética) de nivel industrial certificación EN 61326, también es inmune a descargas electrostáticas (IEC 1000-4-2:1995 / EN 61000-4-2:1995), inmune a contaminación por radio frecuencia (IEC 1000-4-3:1995 / EN 61000-4-3:1996), transientes eléctricos (IEC 1000-4-4:1995 / EN 61000-4-4:1995), sobretensiones (IEC 1000-4-5:1995 / EN 61000-4-5:1995) e interrupciones cortas de voltaje (IEC 1000-4-11:1994 / EN 61000-4-11:1994). También cumple con la parte 15 de las reglas de la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos), según el cual el dispositivo no debe recibir interferencia externa y tampoco producirla a otros equipos.
15	Visualización.	A través de la pantalla SC1000 acoplada al controlador principal de las sondas. Pantalla gráfica a color (QVGA, 320 x 240 píxeles, 256), sensible al tacto, portátil (se puede desplazar y acoplar sobre varios controladores de sonda comunicados en red), muestra los datos, curvas estadísticas de desempeño de las sondas, en un mismo pantallazo puede mostrar hasta 4 medidas de diferentes sondas y se puede mostrar en diferentes combinaciones los datos de 20 medidas, cada controlador tiene la capacidad de manejar un máximo de 8 sondas digitales, protección IP 65 que le permite al equipo ser instalado a la intemperie y posee un puerto Ethernet para descarga de datos.
16	Garantía de la sonda. Garantía del capuchón.	3 años. 1 año
17	Precio	1.496 dólares aproximadamente 3'817.792 pesos (Taza representativa dólar 2200 pesos) incluido IVA del 16%.

Para mayor información sobre el desempeño y componentes de los controladores SC 1000, SC 100 y sus interfaces gráficas, ir al anexo 3.

Figura 37. Composición del sensor LDO.



Fuente: HACH. LDO sensor [en línea]. Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com>

Selección del analizador de Aluminio residual. Como se había nombrado en secciones anteriores en el mercado solo se pudo encontrar un analizador de aluminio residual, al igual que se realizó con el resto de los equipos se entrará a calificar para saber hasta qué punto cumple con los criterios de selección y qué tan apto sería integrarlo al proyecto.

Tabla 19. Ponderación para el analizador de Aluminio Residual (Cisterna).

Analizador de Aluminio Residual (Cisterna)						
	Criterios de selección	% A	% G	% J	% L	% Promedio
Requerimientos de usuario.						
1.	Visualización en campo de la medida.	14	15	20	7	14,00
2.	Resistente a la intemperie.	14	15	10	16	13,75
3.	Inmune a la interferencia (Contaminación Electromagnética).	8	5	5	6	6,00
4.	Poco mantenimiento.	15	5	5	17	10,50
5.	Bajo Costo en los reactivos para muestrear el agua.	19	20	10	20	17,25
Requerimientos técnicos.						
6.	Rango de lectura (0 – 0.2)mg/L.– según artículo 8 del decreto 475/98.	15	20	25	17	19,25
7.	Precisión de lectura ± 0.02 mg/L – según artículo 1, definición 26, párrafo 2.	15	20	25	17	19,25
Total		100	100	100	100	100

% A = Pasante - Alexander Quijano.

% G = Pasante - Guillermo González.

% J = Operador – Juan Carlos Ordóñez.

% L = Jefe de instrumentación – Luís Ángel Tobón.

En la tabla 20 se presentan las especificaciones técnicas del analizador de aluminio propuesto.

Tabla 20. Especificaciones Técnicas del Analizador de Aluminio Residual AZTEC 1000 (Capital Control).

	Característica	Valor
1	Rango de trabajo.	0,005 a 2mg/L.
2	Precisión de medición.	±0,1mg/L.
3	Método de medición.	El principio de operación del AZTEC1000 es básicamente un método de medición colorimétrico. El método se basa en la reacción de reactivos con la muestra de agua, lo cual causa un cambio de color en la muestra, el cambio de color es medido, cuantificado y convertido en un valor de concentración de aluminio. El reactivo usado para la medida de luminio es el violeta pyrocatechol. Para mayor información sobre el método de medición ir a las especificaciones técnicas del equipo en los anexos del trabajo. Para mayor sobre el método de medición del analizador de Aluminio residual ir a los anexos.
4	Reactivos.	Violeta Pyrocatechol, un buffer (Básicamente es un líquido que contiene un nivel determinado de aluminio y sirve como referencia) y agua des-ionizada. Por cada muestra se consume alrededor de 0,8ml de cada reactivo, por hora se pueden tomar de una a seis muestras y con un consumo de seis muestras por hora o 4,8ml los reactivos pueden durar un promedio de 40 días. Vale la pena aclarar que el único químico que verdaderamente reacciona con el agua muestreada es el Pyrocatechol.
5	Presión de la muestra.	5psi.
6	Suministro de la muestra.	Continua.
7	Limitaciones de la muestra.	Muestras que contienen partículas mayores a 100 micrones (Bajo estas condiciones se requiere prefiltración – el equipo incluye los filtros).
8	Salidas.	Señal de salida análoga (4-20 mA DC, 0 - 20 mA DC, ó 0-10 mA DC), salida digital (RS-232) para descarga de datos y configuración.
9	Relés.	6 contactos de relé.
10	Registrador de datos.	Más de 28 días de registro (dato cada 4 horas), antes de 7 días (dato por hora), antes de 24 días (en intervalos de 5 minutos); utiliza los datos obtenidos para mostrar la tendencia estadística de la variable.

11	Tipo de protección.	IP 65 y NEMA 4X (National Electrical Manufacturers Association) Sellado contra el agua y polvo. Este analizador está diseñado especialmente para su uso en interiores y exteriores, está protegido contra salpicaduras de agua, filtraciones de agua, agua que caiga sobre ellos y condensación extrema, además son resistentes a la corrosión.
12	Tiempo de mantenimiento requerido.	Revisar mensualmente las tuberías, la cabeza del pistone y cambiar los reactivos. Anualmente se debe cambiar el filtro. Entre 18 y 24 meses se cambia las tuberías, los bloques de válvulas y se debe cambiar el tubo que contiene el reactivo, de igual manera chequear la celda óptica.
13	Calibración.	Auto calibración.
14	Temperatura de trabajo.	0° C a 40° C.
15	Dimensiones y peso.	48,5 x 66 x 20,5 / 21kg.
16	Inmunidad al ruido.	El equipo es inmune a descargas electrostáticas (IEC 1000-4-2), inmune a contaminación producida por radio frecuencias (IEC 1000-4-3), inmune a radiación de campos eléctricos (IEC 801-3) e inmune a transitorios conducidos (IEC 801-4).
17	Visualización.	Posee un display de 3" x 4", en el cual se puede visualizar la medida de Aluminio residual, llevar un registro de datos de 28 días (Depende de la cantidad de muestras que se tomen por hora) y con ellos crear gráficas estadísticas de estos datos.
18	Garantía del analizador.	1 año.
19	Precio.	14.970,00 dólares aproximadamente 38'203.440 pesos (Taza representativa dólar 2200 pesos) incluido IVA del 16%.

En la siguiente tabla se evalúan el analizador de aluminio residual propuesto, respecto a los criterios de selección planteados para el desarrollo del proyecto.

Tabla 21. Matriz de evaluación del analizador de Aluminio (Cisterna).

			Variantes de concepto	
			A	
	Criterios de selección.	% promedio	Nota	Criterio ponderado
1	Visualización en campo de la medida.	14,00	5	0,70
2	Resistente a la intemperie.	13,75	5	0,41
3	Inmune a la interferencia (Contaminación Electromagnética).	6,00	4	0,18
4	Poco mantenimiento.	10,50	4	0,32
5	Bajo Costo en los reactivos para muestrear el agua.	17,25	5	0,86
6	Rango de lectura (0 – 0.2)mg/L.– según artículo 8 del decreto 475/98.	19,25	5	0,96
7	Precisión de lectura ± 0.02 mg/L – según artículo 1, definición 26, párrafo 2.	19,25	5	0,96
TOTAL				4,39
Orden				1
¿Continúa?				Si

Concepto A = Analizador de Aluminio Residual AZTEC 1000 (Fabricante – Capital Control).

Acotaciones

Analizador de Aluminio Residual AZTEC 1000:

Criterio 3 (Inmune a la interferencia): Este equipo esta certificado abiertamente con los estándares de la comisión internacional de electrotecnia (IEC) con respecto a la contaminación electromagnética (EMC). El equipo es inmune a descargas electrostáticas (IEC 1000-4-2), inmune a contaminación producida por radio frecuencias (IEC 1000-4-3), inmune a radiación de campos eléctricos (IEC 801-3) e inmune a transitorios conducidos (IEC 801-4). La calificación realmente se debe a que el equipo se piensa integrar junto con otros equipos a un sistema de información que permitirá visualizar los datos en un PC a través de un SCADA, debido a esto, la única forma de integrar el equipo a al sistema de información es conectarlo a través de una salida de 4 a 20mA que posee el analizador, a una tarjeta de entradas análogas que ira acoplada a un PLC junto con otros 6 analizadores más que se encuentran instalados en la actualidad en la planta. Como se sabe uno de los problemas que presenta el lazo de 4 a 20mA es su media inmunidad al ruido, y por ello se debe tener mucho cuidado en la instalación del cable, garantizando que en el recorrido no se presenten equipos o redes eléctricas que puedan generar algún tipo de interferencia para la conexión, causando errores en los datos que se entregan al PLC.

Criterio 4 (Poco mantenimiento): Este criterio tuvo una calificación de 4 debido al nivel de mantenimiento que el equipo requiere. Aparte de los chequeos convencionales de cualquier equipo, el fabricante recomienda estar cambiando el reactivo del equipo (Violeta Pyrocatechol) que es en últimas una de las partes fundamentales del analizador. Debido a que la empresa ya había adquirido un equipo similar (Planta Puerto Mallarino) el proveedor regala la fórmula del reactivo para que pueda ser fabricada en el laboratorio, disminuyendo los costos pero aumentando los chequeos del equipo, porque de llegar a preparar mal el reactivo, las lecturas del equipo resultaran inútiles. Hay que revisar mensualmente las tuberías internas garantizando que no se encuentren obstruidas por arenilla y sedimentos y de igual forma limpiar la cabeza de los pistones.

Equipo seleccionado: Analizador de Aluminio Residual AZTEC 1000 (ver figura 38).

Figura 38. Analizador de aluminio residual (AZTEC1000).



Fuente: USFilter Wallace & Tiernan Products. Analizadores [en línea]. Miami: USFilter Wallace & Tiernan Products, 2005. [Consultado 20 de noviembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.wallaceandtiernan.usfilter.com>

Para mayor información sobre el principio de medición del equipo referirse al anexo 5.

8.1.2. Sistema de adquisición y transmisión de datos. Como se fijó en el tercer objetivo específico, seleccionar un sistema de adquisición y transmisión de datos que permita centralizar y estandarizar la información, es vital para el desarrollo efectivo del proyecto.

Uno de los alcances principales de este proyecto es la centralización de la información, permitiendo un manejo más estructurado de los procesos de potabilización del agua. Debido a la importancia de centralizar y estandarizar la información proveniente de los distintos procesos químicos de la planta, se investigaron plataformas de comunicaciones que permitieran comunicar los equipos que fueron seleccionados para el proyecto, y permitieran a través de esa plataforma, tareas de adquisición de datos (lectura de datos), configuración de equipos (transmisión de datos) y verificación del estado de la red (monitoreo de datos).

Como se presentó en secciones anteriores, al seleccionar los instrumentos de campo se dio a conocer que todas las sondas escogidas pertenecen a un sistema multiparamétrico mediante el cual se procesa, interpreta, visualiza y transmite la información que generan todas las sondas pertenecientes al sistema; recuérdese que el que el sistema seleccionado es el conjunto de sondas del fabricante HACH, las cuales son administradas por un Controlador central (SC 1000) que se conecta en red con otros controladores a través de dos protocolos de Bus de Campo. Recuérdese que un Bus de Campo es un sistema de transmisión de datos orientado a procesos industriales. El propósito del Bus de Campo, es sustituir el típico lazo de corriente punto a punto de 4 a 20mA, por una red digital bidireccional, multipunto y serial, capaz de conectar dispositivos tales como: sensores, actuadores, transductores, equipos de radio y PLC's.

Para todo el proyecto se requiere usar dos controladores SC 1000 que administraran un total de 15 sondas y un controlador SC 100 que se ubicará en el desarenador manejando una sola sonda; a todos estos dispositivos se les pueden acoplar tarjetas de Bus de Campo MODBUS RTU ó PROFIBUS DP (Ver anexo 3) para comunicación en red. Básicamente los controladores solo permiten el uso de los Buses de Campo nombrados anteriormente, por lo que para evitar entrar en

gastos adicionales tratando de implementar otro tipo de protocolo de comunicación, a continuación se definirá la selección de MODBUS RTU ó PROFIBUS DP (para mayor información sobre estos protocolos ir al anexo 1) como plataforma de comunicaciones para el proyecto.

Selección del Bus de Campo

Los criterios de selección del Bus de Campo fueron determinados por los pasantes. Definieron y dieron peso (en porcentaje) a cada uno de los requerimientos con los que debía cumplir el Bus de campo. Cada uno de los pasantes dio porcentaje a cada uno de los requerimientos según su conocimiento (basado en investigaciones), se promediaron los porcentajes para darle un peso final a cada criterio, con el, se creo una matriz de evaluación en donde se calificó las características de cada Bus de Campo propuesto con una nota de 1 a 5, las notas obtenidas se multiplicaron por el porcentaje (peso) de cada criterio y el resultado ó criterio ponderado se sumo.

Criterios de selección del Bus de Campo.

En ésta sección se darán a conocer los criterios de selección que se tuvieron presentes para escoger el Bus de Campo idóneo. Para ésta selección no se tuvieron en cuenta requerimientos de usuario, debido a que la implementación de un Bus de Campo como plataforma de comunicaciones fue planteamiento de los pasantes, los requerimientos de usuario fueron reemplazados por requerimientos de proyecto.

Requerimientos del proyecto.

- Conocimiento del protocolo en la empresa. Este Criterio posee un peso importante en la selección del equipo idóneo, debido a que la implementación y el mantenimiento de la red de comunicaciones estarían a cargo de la

empresa, el valor de este criterio en el Bus de Campo seleccionado, podría verse reflejado en tiempo y dinero. Si no existe conocimiento alguno por parte de los Ingenieros encargados de la automatización e instrumentación en las plantas de acueducto, se tendrían que tener en cuenta costos adicionales por capacitación en la implementación del protocolo, y si no existiese el suficiente conocimiento sobre el protocolo, se podría traducir en demoras y errores en la implementación de la red.

- Poco cableado. Básicamente lo que se busca con este criterio es que el protocolo pueda ser implementado en una conexión en Bus, la cual es la que requiere menor cableado para comunicar los dispositivos sobre la red.
- Protocolo confiable. Se busca que el protocolo garantice que la información transmitida sea recibida de forma correcta tanto por el esclavo como por el maestro del Bus. Se requiere que el protocolo no solo use el control de errores típico utilizado en las tramas de una comunicación serial, sino que utilice funciones adicionales que permitan garantizar la fiabilidad de la información, especialmente porque a través de la red se transmitirán datos de configuración de equipos.
- Aplicable para comunicación entre controladores. Se busca que el protocolo tenga la capacidad de sostener comunicación entre controladores, debido a que el tipo de esclavos que administrara el Bus de Campo son controladores de gama baja (Un SC 100 y dos SC1000), que se encargaran de controlar y registrar los datos de las sondas que serán ubicadas en la planta, estos equipos también poseen funciones de control típico (P, PI y PID). Recuérdese que en un futuro se pueden aprovechar estos equipos para automatizar las variables que se sensarán.
- Alta Velocidad de transmisión. Se busca que el Bus de Campo sea veloz, debido a el número de datos que se van a manejar como producto de la cantidad de equipos necesarios para el proyecto (16 sondas y 3 controladores), y ello sumado a las velocidades de procesamiento de los

controladores, la velocidad de procesamiento del maestro del Bus, la velocidad de procesamiento del PC donde se visualizarán las variables y un Bus de Campo lento, generarían un sistema demasiado ineficiente de no hacer una adecuada selección.

Requerimientos técnicos.

- Protocolo MODBUS RTU ó PROFIBUS DP. Los controladores de las sondas que se escogieron (SC 100 y SC 1000 de HACH), solo poseen tarjetas de red de estos dos protocolos.
- Trabajar sobre un enlace RS-485. Ésta es la interfase serial que trae el equipo de fábrica.
- Que pueda manejar 3 esclavos. La cantidad de esclavos que se van a enlazar con el Bus de campo son tres, el primero un controlador SC 1000 (A) el cual se encargará de controlar ocho sondas (6 en los decantadores 1, 2 y 3, más una en la cadíca – plano 1), el segundo otro controlador SC 1000 (B) que manejará siete sondas (6 en los decantadores 4, 5 y 6, más dos en la cadíca) y un tercer controlador (SC 100) que estará ubicado en el desarenador y manejará una sonda de turbiedad que se enlazará al sistema a través de un enlace radio (plano 5 y 7).
- Tener la capacidad de cubrir 127,5m entre nodos. La distancia máxima entre nodos será de 127,5m m (plano 1 – se calcula multiplicando la medida por la escala que tiene el plano), que es la distancia que habrá entre el controlador A y el radio que transporta la señal del controlador C (SC – 100) del desarenador.

Tabla 22. Ponderación para la elección del Bus de Campo.

Bus de Campo				
	Criterios de selección	% A	% G	% Promedio
Requerimientos del proyecto				
1.	Conocimiento del protocolo en la empresa	15.0	11.0	13.0
2.	Poco cableado	8.0	8.0	8.0
3.	Protocolo confiable	9.0	9.0	9.0
4.	Aplicable para comunicación entre controladores	14.0	13.0	13.5
5.	Alta Velocidad de transmisión	11.0	11.0	11.0
Requerimientos técnicos.				
6.	Protocolo MODBUS RTU ó PROFIBUS DP (El sistema seleccionado posee tarjetas de red solo para estos protocolos)	11.0	13.0	12.0
7.	Trabajar sobre un enlace RS-485	11.0	13.0	12.0
8.	Que pueda manejar 3 esclavos	10.0	13.0	11.5
9.	Tener la capacidad de cubrir 127,5m m entre nodos	11.0	9.0	10.0
Total		100	100	100

% A = Pasante - Alexander Quijano.

% G = Pasante - Guillermo González.

En la tabla 23 se dan a conocer las principales características de MODBUS RTU y PROFIBUS DP para que sean comparadas y calificadas posteriormente.

Tabla 23. Comparación entre los Buses de Campo MODBUS RTU y PROFIBUS DP.

Característica	MODBUS RTU	PROFIBUS DP
Fabricante.	Modicon / Gould / Groupe Schneider.	Consortio Profibus (Alemania)
Velocidad de transmisión.	75 b/s a 19,2kb/s. (Velocidad en baudios).	9.6 Kb/s a 12 Mb/s. (Velocidad en baudios).
Máximo numero de esclavos.	64 (incluyendo maestro)	126 (entre maestros y esclavos)
Máximo numero de maestros.	1	Sin limite (en la practica solo 1)
Tamaño máximo de datos	250 bytes	244 bytes
Longitud máxima entre nodos.	15-60m (RS-232); 1200m (RS-422/485)	2400m (con un cable 20AWG)
Medio de transmission.	-RS-232. -RS-422 (Full duplex). -RS-485(half duplex). -Fibra Óptica (half duplex y full duplex).	-RS-485 (Half duplex). -Fibra Óptica (half duplex).
Conector.	No especificado	DB-9
Aplicable para comunicación entre controladores o equipos inteligentes.	Si	Si
Compatibilidad	MODBUS TCP/IP (MODBUS sobre Ethernet)	PROFIBUS PA, FMS y PROFINET (PROFIBUS sobre Ethernet)
Topología	Bus	Bus, chicken feet
¿Aplicable a I/O remotas?	Si	Si
Modos de operación	-Punto a punto: una demanda del maestro y una respuesta del esclavo (puede ser simplemente un reconocimiento («acknowledge»)). -Mensajes difundidos: Comunicación unidireccional del Maestro a todos los esclavos.	-Operate: Transmisión cíclica de datos en la entrada de los esclavos y se escribe información de salida en los esclavos. -Clear: Se leen las entradas de los esclavos manteniendo las salidas en estado de seguridad. -Stop: Sólo se permite la transmisión de datos entre maestros.
Gestión de acceso al medio	Maestro/esclavo	Token Ring entre maestros, Maestro/esclavo
Detección de errores	CRC de 16 bits	Paridad, Checksum de 8 bits, CRC de 16 bits y Hamming.
Funciones de diagnostico	Lectura y control de contadores de diagnostico	3 niveles jerárquicos de mensajes.

Funciones de seguridad y protección	Código de Función erróneo: 02 Dirección incorrecta 03 Datos incorrectos 06 Equipo ocupado	-Distancia Hamming HD=4. Temporizador guardián en DP. -Protección de acceso para las I/O de los DP esclavos. -Monitorización de los datos de usuario con un temporizador configurable en el Maestro.
Numero de personas capacitadas en el manejo del protocolo en la empresa (ACUEDUCTO).	2 personas.	1 persona.

A continuación se califica cada protocolo con respecto a los criterios de selección planteados.

Tabla 24. Matriz de evaluación para el Bus de Campo.

			Variantes de concepto			
			A		B	
	Criterios de selección.	% promedio	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado.
1.	Conocimiento del protocolo en la empresa	13.0	5	0,65	4	0,52
2.	Poco cableado	8.0	5	0,40	5	0,40
3.	Protocolo confiable	9.0	3	0,27	5	0,45
4.	Aplicable para comunicación entre controladores	13.5	5	0,67	5	0,67
5.	Alta Velocidad de transmisión	11.0	3	0,33	5	0,55
6.	Protocolo MODBUS RTU ó PROFIBUS DP (El sistema seleccionado posee tarjetas de red solo para estos protocolos)	12.0	5	0,60	5	0,60
7.	Trabajar sobre un enlace RS-485	12.0	5	0,60	5	0,60
8.	Que pueda manejar 3 esclavos	11.5	5	0,57	5	0,57
9.	Tener la capacidad de cubrir 127,5m entre nodos	10.0	5	0,50	5	0,50
TOTAL		100		4,59		4,86
Orden				2		1
¿Continúa?				No		Si

Concepto A = MODBUS RTU.

Concepto B= PROFIBUS DP.

Acotaciones.

A continuación se hará referencia y aclaración de los puntajes más bajos obtenidos por cada Bus de Campo en la tabla de evaluación de conceptos, los cuales fueron críticos para la selección del instrumento idóneo:

MODBUS RTU.

Criterio 3 (Protocolo confiable): El puntaje básicamente se debe a que en comparación con PROFIBUS DP, MODBUS RTU no realiza el monitoreo suficiente sobre los datos que se envían en el Bus, básicamente el maestro del Bus envía mensajes de demanda (lectura/escritura de datos, configuración, descarga de programas, RUN/STOP) y el esclavo responde con un mensaje de reconocimiento, posteriormente el mensaje de reconocimiento es recibido por el maestro y se comprueba que las tramas de datos enviados llegaron correctamente a través de un CRC (comprobación de Redundancia Cíclica), aunque esta comprobación de datos es muy efectiva no es eficiente si solo se realiza en el esclavo, además se puede presentar el caso que una o varias tramas de datos enviadas por el maestro se pierdan en el camino por problemas en la transmisión, en este caso lo que hace el maestro es esperar un tiempo y si este es sobrepasado declara al esclavo fuera de servicio. Al igual que el MODBUS RTU PROFIBUS DP utiliza un CRC para hacer comprobación de errores en los datos enviados, adicional a ello, cuando un maestro PROFIBUS DP envía un mensaje demanda, el esclavo responde con un mensaje de reconocimiento, cuando el maestro lo recibe envía de igual forma un mensaje de reconocimiento de que fue recibido el reconocimiento del esclavo (se realizan mensajes de reconocimiento tanto en el maestro como en el esclavo); anexamente al iniciar la transmisión de la trama de datos, se inicia un temporizador en el maestro y dura hasta que es recibido el reconocimiento por parte del esclavo, si después de cierto tiempo no se recibe el mensaje, la trama se envía nuevamente, de la misma manera se inicia un temporizador cuando se recibe la trama de datos en el esclavo y no para hasta no recibir el mensaje de reconocimiento por parte del maestro. Por el desempeño mencionado el PROFIBUS DP resulta ser un protocolo mucho más confiable, superando en gran medida a MODBUS RTU.

Criterio 5 (Alta Velocidad de transmisión): MODBUS RTU posee una velocidad de transmisión que va de 75b/s a los 19,2kb/s, en relación con PROFIBUS DP que posee una velocidad que va de 9,6kb/s a 12Mb/s, MODBUS RTU es mucho más lento, a ello se debe la calificación dada para este criterio.

PROFIBUS DP.

Criterio 1 (Conocimiento del protocolo en la empresa): La calificación se debe a que básicamente solo una persona en las plantas de acueducto maneja PROFIBUS DP. A pesar de contar con solo una persona que posee conocimiento sobre el protocolo, resulta suficiente, pues es ella quien se encarga de desarrollar parte de las labores de programación y mantenimiento de los PLC's en las plantas, y trabaja en el desarrollo de los proyectos donde intervengan de alguna forma la instrumentación, automatización y comunicaciones industriales. En relación con el conocimiento que se posee sobre MODBUS RTU solo dos personas lo manejan ampliamente, por lo que en cuestión de números se refiere no hay mucha diferencia.

Bus de Campo seleccionado: Basándose en los resultados obtenidos en la matriz de evaluación el Bus de Campo que cumple en gran medida con los criterios de selección planteados es el PROFIBUS DP.

PROFIBUS DP (Periferia descentralizada). Esta versión del PROFIBUS permite transmitir datos a gran velocidad. Los dispositivos de control central (PLC's/PC's – Maestros del bus) se comunican con los dispositivos de campo por medio de un enlace serial de alta velocidad. El maestro del Bus lee de forma cíclica la información procedente de los esclavos, y según la interpretación de los datos escribe información en ellos. Para garantizar que la información enviada por medio del bus sea correcta, se realizan funciones de verificación y control de errores tanto en el maestro como en los esclavos. En la tabla 25 se muestran las principales características de PROFIBUS DP.

Tabla 25. Especificaciones Técnicas del bus de campo PROFIBUS DP.

	Característica	Valor
1	Interfase serial.	RS-485 y Fibra Óptica (half duplex).
2	Conector.	DB-9.
3	Velocidad de transmisión.	9,6kb/s a 12Mb/s.
4	Número máximo de esclavos.	126 (con 3 repetidores), 32 sin repetidores.
5	Longitud máxima entre nodos.	2400m (A través de RS-485 con un cable 20AWG) ó 1200m (A través de RS-485 con un cable 24AWG). Cabe aclarar que a mayor velocidad en la transmisión la distancia se reduce (ver tabla 26).
6	Tipo de conexiones.	Mono-maestro y Multi-maestro.
7	Compatibilidad.	PROFIBUS PA, PROFIBUS FMS y PROFINET (PROFIBUS sobre Ethernet).
8	Tamaño máximo de los datos.	244bytes.
9	Topología	Bus lineal o Chicken feet.
10	Comunicación entre maestros y esclavos.	De forma cíclica.
11	Comunicación entre maestros.	De forma acíclica.
12	Acceso al Bus.	Entre maestros se realiza a través de Token Ring (paso de testigo), y entre esclavos según la jerarquía maestro esclavo.
13	Detección de errores.	Paridad, Checksum de 8 bits, CRC de 16 bits y Hamming. Además posee temporizadores configurables en los maestros y los esclavos.
14	Modos de operación.	-Operate: Transmisión cíclica de datos de entrada y salida. -Clear: Se leen las entradas manteniendo las salidas en estado de seguridad. -Stop: Sólo se permite la transmisión de datos entre maestros.
15	Sincronización.	Los comandos de control permiten la sincronización de entradas y salidas. -Modo Sync: Sincroniza salidas. -Modo Freeze: Sincroniza entradas.
16	Funcionalidad.	-Activación o desactivación dinámica de esclavos de forma individual. -Chequeo de la configuración de los esclavos. -Sincronización de las entradas y/o salidas. -Asignación de direcciones sobre el bus de los esclavos. -Configuración del maestro sobre el bus.
17	Aplicaciones.	Comunicación entre controladores y equipos inteligentes.

Tabla 26. Distancias en relación con el medio físico y la velocidad.

Medio Físico.	Velocidad (kb/s)				
	9.6 - 93.75	167.5	500	1500	2000
RS 485 (24 AWG).	1200m	600m	200m	100m	50m
RS 485 (20 AWG).	2400m	1200m	400m	200m	100m
F.O Cuarzo.	1400m	1400m	1400m	1400m	1400m
F.O Plástico					
0 - 40°C	5-25m	5-25m	5-25m	5-25m	5-25m
0 - 50°C	10-20m	10-20m	10-20m	10-20m	10-20m

Fuente: Modulo de comunicaciones industriales, Universidad Politécnica de Cartagena, temas 7 y 8.

Como se muestra en la tabla anterior (Tabla 26), la distancia entre nodos depende de la velocidad que se maneje a través del enlace serial y el diámetro del cable usado (a mayor diámetro mayor será la distancia cubierta y mayor la velocidad de los datos a través de él). En el mercado la categoría de cable más común para enlaces RS-485 es el 24AWG, por ello y por que la distancia máxima entre nodos que se requiere para el proyecto será de 127,5m (plano 1), la velocidad del Bus se vería reducida a 500kb/s para evitar problemas en la conexión. Hay que aclarar que la velocidad del Bus también se vería alterada por la velocidad de transmisión de los radios que realizarán el enlace entre el controlador C (SC 100) ubicado en el desarenador, y el Bus de Campo en la planta, lo cual se analizará más adelante.

Cabe aclarar que el tipo de medio físico seleccionado es el cable, el cual se usara a través del enlace RS - 485, debido a que resulta más económico que la fibra óptica.

PLC maestro de la red PROFIBUS DP

La instalación de un PLC maestro, surge de la necesidad de administrar y centralizar la información de los dispositivos que se integrarán al Bus de Campo PROFIBUS DP. El principal objetivo, es visualizar los datos de todos los instrumentos en un PC, mediante un SCADA. El PLC, también deberá adquirir señales análogas provenientes de siete analizadores ubicados en la parte anterior

del edificio central (seis existentes y el analizador de aluminio residual), y al igual que las sondas, permitirles desplegar los valores sensados a través del SCADA.

Con el aumento progresivo del Ethernet en la industria y la masificación del Internet, se hizo necesario la búsqueda de PLC's que tuvieran la capacidad de manejar protocolos TCP/IP, para compartir información ó monitorear el desempeño de los procesos a través de la Intranet de la empresa, y a nivel nacional ó mundial a través del Internet.

El PLC maestro deberá estar en la capacidad de manejar tres señales PROFIBUS DP, provenientes de dos controladores SC 1000 (Controladores HACH) y el SC100 ubicado en el desarenador; de igual forma, tendrá que manejar medidas de variable análoga proveniente de siete analizadores clasificados de la siguiente forma: un analizador de Aluminio residual, dos analizadores de Cloro, dos analizadores de Turbiedad y dos de pH.

En el mercado se encontraron cuatro fabricantes de PLC's cuyos equipos se presentan como opciones para suplir los requerimientos del proyecto. En las figuras 39, 40, 41 y 42 se observan los PLC's ABB, Allen Bradley, SIEMENS y SCHNEIDER, cuyos fabricantes en el mercado son lideres en la producción de equipos de automatización.

Figura 39. PLC maestro ABB, AC 800M.



Fuente: ABB. Automation Inc. [en línea] Producto PLC. Zurich: ABB. Automation Inc, 2005. [Consultado 30 de diciembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.abb.com/control>

Figura 40. PLC maestro Allen Bradley, CONTROLLOGIX.



Fuente: Rockwell Automation. PLC [en línea]. Milwaukee: Rockwell Automation, 2005. [Consultado 3 de diciembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.rockwellautomation.com>

Figura 41. PLC maestro SIEMENS, S7-300.



Fuente: Siemens AG. PLC [en línea]. Munich: Siemens AG, 2005. [Consultado 8 de diciembre de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.siemens.com/automation>

Figura 42. PLC maestro SCHNEIDER, Modicom TSX Premium.



Fuente: Schneider. PLC [en línea]. Santa fe de Bogota D.C: Schneider, 2005. [Consultado 5 de diciembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.schneider-electric.com.co>

Criterios de selección del PLC maestro PROFIBUS DP.

A continuación se hará un análisis para seleccionar el equipo ideal según requerimientos de proyecto planteados por los pasantes. Al igual que en la selección del Bus de Campo no se tuvieron en cuenta requerimientos de usuario, debido a que la implementación de un PLC maestro surge como una necesidad del proyecto

Requerimientos del proyecto.

- Posible ingreso de más variables análogas y digitales. Se busca un PLC que permita ampliar el número de entradas análogas y digitales a través de la integración de módulos al PLC.
- costo. En el caso de que los equipos evaluados cumplieran abiertamente con todos los criterios de selección, este ítem va a ser definitivo en la selección del “equipo más eficiente” (Obtener resultados esperados a menor costo).

- Facilidad de expansión de memoria. El PLC tiene que tener la capacidad de expansión de memoria para que la empresa pueda emplear el PLC para funciones de control y adquisición de datos robustas que requieran aumentar la capacidad del equipo.

Requerimientos técnicos.

- Que sea maestro bajo el protocolo PROFIBUS DP clase 1. Como lo muestran las especificaciones técnicas de los equipos controladores SC1000 (2) y SC100 (1) marca HACH (Ver anexos) quienes trabajaran como esclavos del Bus de Campo, estos controladores trabajan con ésta versión del PROFIBUS DP.
- Capacidad para aceptar señales análogas. El PLC tiene que tener módulos de entradas análogas para poder integrar al sistema de datos que maneja el PLC los analizadores de Cloro (2), Turbiedad (2), pH (2) y Aluminio Residual que entregan señales análogas de 4 a 20mA.
- Capacidad de manejar 3 esclavos (3 controladores). El PLC debe tener la capacidad de recibir datos de 3 controladores, según el estudio y los requerimientos son 2 controladores SC1000 y un SC100. Los dos controladores SC1000 manejarán un total de 15 sondas (Uno de ellos 8 sondas y el otro 7) y el SC100 va a controlar una sonda.
- Que tenga una salida o módulo Ethernet para comunicación en red. Inicialmente ésta salida se utilizará como interfase entre el PLC y el PC donde se visualizaran las variables, pero en un futuro se podría utilizar la salida o el módulo ethernet para compartir los datos generados por el equipo en la intranet de la empresa ó en una Ethernet industrial creada para compartir los datos de todos los dispositivos de proceso de las plantas de tratamiento de agua de EMCALI.

Tabla 27. Ponderación para la selección del PLC Maestro PROFIBUS DP.

PLC Maestro PROFIBUS				
	Criterios de selección	% A	% G	% Promedio
Requerimientos de proyecto.				
1.	Posible ingreso de mas variables análogas y digitales	11	7	9,0
2.	Costo	17	17	17,0
3.	Facilidad de expansión de memoria	13	7	10,0
Requerimientos técnicos.				
4.	Que sea maestro bajo el protocolo PROFIBUS DP clase 1	15	18	16,5
5.	Capacidad para aceptar señales análogas	15	18	16,5
6.	Capacidad de manejar 3 esclavos.	15	15	15,0
7.	Que tenga una salida o módulo Ethernet para comunicación en red	14	18	16,0
Total		100	100	100

% A = Pasante - Alexander Quijano.

% G = Pasante - Guillermo González.

En la siguiente tabla se muestran las principales características de los PLC's propuestos para que sean comparadas con respecto a los requerimientos del proyecto.

Tabla 28. Comparación entre PLC's Maestro PROFIBUS DP.

Característica	ABB. (AC 800M)	Allen Bradley. PLC Controllogix.	SIEMENS. PLC S7-300. (315 2DP)	Schneider. PLC MODICOM TSX PREMIUM
Velocidades de PROFIBUS DP.	9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500, 1500, 3000, 6000 y 12000kbits/s.	9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500, 1500, 3000, 6000 y 12000kbits/s.	12Mbits/s.	9,6 / 19,2 / 93,75 / 187,5 / 500 / 1500Kbits/s hasta 3 / 6 / 12Mbit/s.
Velocidad de Ethernet	10Mbps.	10/100Mbps.	10/100Mbps.	10/100Mbps.
Cantidad de esclavos	Cantidad máxima de esclavos: 126	Capacidad de controlar hasta 127 esclavos	Puede manejar hasta 124 esclavos	Cantidad máxima de esclavos: 126
Memoria	-8MB. -Memoria Flash 2MB.	-96KB -expandible hasta de 512K.	-128KB. -Memoria Flash 8MB.	-160KB. -expandible hasta 4MB.
Modulo de entradas analógicas	8 canales.	8 terminales únicos. 4 diferenciales. 2 diferenciales de alta velocidad.	8 canales.	8 canales.
Número máximo de módulos I/O analógicos	12 módulos de 8 canales.	En el chasis 4 módulos I/O analógicos ó digitales.	8 modulos de 8 canales.	6 módulos de 8 ó 16 canales
Número máximo de módulos I/O digitales	12 módulos de 16 canales.	En el chasis 4 módulos I/O analógicos ó digitales.	8 modulos de 16 ó 32 canales.	6 módulos de 16 canales
Protección IP	IP20	IP20	IP20	IP20
Proveedor	Automatización Ltda.	MELEXA Ltda.	SIEMENS S.A.	CPI Ltda.
Tiempo de entrega	4 a 6 semanas.	3 a 4 semanas.	5 a 6 semanas.	15 días.
Tiempo de reposición	-Stock 2 días. -Fábrica de 4 a 6 semanas.	-Stock de inmediato.	-Stock de 1 a 2 días.	-Stock 3 días. -Fábrica 20 días.
Precio	11'356.400 incluido IVA.	14'764.262 incluido IVA.	13'800.612 incluido IVA.	18'085.160 incluido IVA.

Para mayor información técnica sobre los PLC's Controllogix de Allen Bradley, S7-300/315 2DP de SIEMENS y TSX PREMIUM de Schneider referirse al anexo 7.

En la siguiente matriz de evaluación se califican los equipos en relación con los criterios de selección planteados.

Tabla 29. Matriz de evaluación para el PLC Maestro PROFIBUS DP.

			Variantes de concepto							
			A		B		C		D	
	Criterios de selección.	% P	Nota	CP	Nota	CP	Nota	CP	Nota	CP
1.	Posible ingreso de mas variables análogas y digitales	9,0	5	0.45	5	0.45	5	0.45	5	0.45
2.	costo	17,0	5	0.85	3	0.51	4	0.68	3	0.51
3.	Facilidad de expansión de memoria	10,0	5	0.40	2	0.20	4	0.50	3	0.40
4.	Que sea maestro bajo el protocolo PROFIBUS DP clase 1	16,5	5	0.83	5	0.83	5	0.83	5	0.83
5.	Capacidad para aceptar señales análogas	16,5	5	0.83	5	0.83	5	0.83	5	0.83
6.	Capacidad de manejar 3 esclavos	15,0	5	0.75	5	0.75	5	0.75	5	0.75
7.	Que tenga una salida o módulo Ethernet para comunicación en red	16,0	5	0.80	5	0.80	5	0.80	5	0.80
TOTAL		100		5.00		4.37		4.74		4.57
Orden				1		4		2		3
¿Continua?				Si		No		No		No

%P= Porcentaje Promedio.

CP = Criterio Ponderado.

Concepto A= ABB. (AC 800M).

Concepto B= Allen Bradley. Controllogix

Concepto C= Siemens. PLC S7-300 (315 2DP)

Concepto D= Schneider Electric. PLC MODICOM TSX PREMIUM.

Acotaciones generales

Criterio 2 (costo). El PLC ABB recibe un 5 en la evaluación ya que este es el PLC que cumple satisfactoriamente los requerimiento con el menor costo, el PLC Siemens recibe un 4 ya que es un PLC que cumple con los requerimientos a un costo razonable y los PLC's Allen Bradley y Schneider Electric recibe una evaluación de 3 ya que son los de mayor costo.

Criterio 3 (Facilidad de expansión de memoria). El PLC ABB tuvo una calificación de 5 porque tiene un slot para una memoria flash de hasta 2MB, no es tanto pero es adecuada ya que este PLC tiene 8MB de memoria interna, es decir si se llega a requerir mucha memoria se puede tener hasta 10MB de memoria. El PLC de Allen Bradley tuvo una calificación de 2 ya que posee muy poca memoria interna y la memoria de expansión es hasta 512Kb, por tanto si se desea trabajar con toda la memoria, se podría trabajar tan solo con 608Kb de memoria. El PLC Siemens tiene una calificación de 4 porque tiene una buena memoria flash (8Mb), pero tiene muy poca memoria interna (128Kbytes) comparada con los demás PLC's. El PLC Schneider tuvo una calificación de 3 ya que tiene una memoria interna de 160Kb y una capacidad de expansión de memoria de hasta 4Mb.

Equipo seleccionado: Como se mostró en los resultados generados por la matriz de evaluación (ver tabla 29), el equipo que se ajusta a los criterios de selección planteados inicialmente es el PLC AC 800M de ABB (Ver figura 43).

Figura 43. PLC maestro ABB.



Fuente: ABB. Automation Inc. [en línea] Producto PLC. Zurich: ABB. Automation Inc, 2005. [Consultado 30 de diciembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.abb.com/control>

AC 800M de ABB. Este PLC cumple satisfactoriamente todos los criterios definidos, además tiene características que favorecen el cumplimiento de los requerimientos de una manera más adecuada para el proyecto.

En la siguiente tabla se presenta las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 30. Especificaciones técnicas del PLC AC 800M de ABB.

Característica	Valor
Clase de protección	IP 20.
Alimentación	24 V DC.
Temperatura de trabajo	5 a 55°C.
Módulo CPU PM860.	
Tipo de procesador	MPC 860.
Memoria RAM	8MB.
Memoria Flash	2MB.
Frecuencia de reloj	48 MHz.
Consumo de corriente	3.8mA.
Peso	960g.
Ethernet (integrado a la CPU).	
Número de canales	2 canales (se puede utilizar uno de los canales como LAN redundante).
Velocidad de transmisión	10Mbps/s.
Interfase	Ethernet 10 base-T (Par trenzado).
Tipo de cable	Par trenzado enmallado.
Longitud máxima del cable	100m.
Conector	RJ 45 hembra (8 polos).
RS –232C (Programación y comunicación).	
Velocidad de transmisión	75 – 38400baudios.
Número de canales	2
Conector	RJ-45 hembra (8 polos).
Modulo maestro PROFIBUS DP.	
Tipo	Maestro PROFIBUS DP clase 1.
Número de canales	1
Velocidades de transmisión	9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500, 1500, 3000, 6000 y 12000kbits/s.
Conector	Conector DB - 9 (hembra).
Consumo de corriente	150mA.
Peso	520g.

Módulo de entradas análogas.	
Número de canales:	8
Tipo de entradas	0(4) - 20mA / 0(2) - 10V / 12bits.
Módulo de alimentación.	
Salida	24V a 2.5A, 5A y 10A (Dependiendo del modelo del módulo).
Alimentación	115/230VAC.

Las siguientes imágenes muestran los de alimentación, de PROFIBUS y de CPU.

Figura 44. Módulo CPU (PM860)

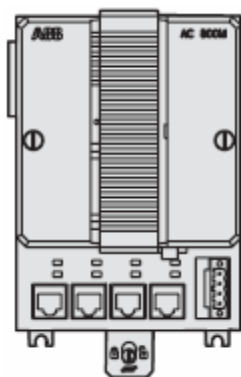


Figura 45. Módulo PROFIBUS DP (CL 851).

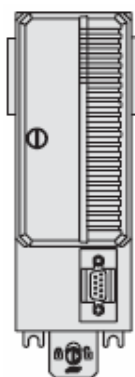


Figura 46. Módulo de alimentación



Fuente: ABB. Automation Inc. [en línea] Producto PLC. Zurich: ABB. Automation Inc, 2005. [Consultado 30 de diciembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.abb.com/control>

8.1.3 Enlace radio.

Como se planteó para los sistemas Multiparamétricos de medición, se hace necesaria la implementación de un controlador de baja capacidad, que administrará la sonda de Turbiedad que se desea instalar en Desarenador (SC100) ubicado en los predios de la Planta de Puerto Mallarino. El controlador necesita ser integrado al Bus de Campo que se situará en la Planta de Río Cauca. Debido a la distancia que existe entre el desarenador y la Planta de Río Cauca (2Km), y a la dificultad de realizar un enlace alambrado entre estos dos puntos (costos, tiempo y seguridad del enlace) que permita integrar el controlador al Bus

de Campo, se hace necesario plantear un enlace inalámbrico que admita comunicar al controlador a través de PROFIBUS DP, con el resto del proceso.

Los equipos que se utilicen para el enlace radio, deberán poseer una interfase serial RS-485 que les permita conectarse al controlador (SC100), tendrán que suplir con la distancia de 2Km entre los puntos del enlace, trabajarán en una Banda libre para ahorrar costos en la transmisión y sobre todo deberán utilizar un canal que produzca el mínimo de interferencias a la comunicación. Las investigaciones arrojaron que los equipos que cumplen con las características anteriormente nombradas son los Radio Módem, en esencia, estos Radios brindan un servicio de fondo igual que un cable conectado entre dos nodos, pues usan un modo transparente para transmitir la información. El modo transparente básicamente se usa cuando el contenido de la transmisión maneja sus propios protocolos de seguridad y reconocimiento, en este caso, no se utiliza el chequeo de errores y los bits de señalización del protocolo de los radios, para no alterar las tramas que componen la comunicación entre los equipos ó nodos.

Investigando con proveedores de equipos de Radio en el mercado, se encontraron dos Radio Módem que cumplen con los criterios planteados, los equipos propuestos se muestran en las figuras 47 y 48: el Radio Modem 9XStream – 192 (De la firma Norteamericana, MaxStream Inc.) y el ELPRO 905 U-D (De la firma Australiana, ELPRO Technologies).

Figura 47. Radio Módem 9XStream – 192.



Fuente: MaxStream. Radio Modem [en línea].
Orem: MaxStream, 2005. [Consultado 10 de
noviembre de 2005]. Disponible en Internet:
<http://www.maxstream.net>

Figura 48. Radio Módem ELPRO 905 U-D.



Fuente: ELPRO Technologies. Radios. [en
línea]. Queensland: ELPRO Technologies,
2005. [Consultado 10 de noviembre, 2005].
Disponible en Internet:
<http://www.elprotech.com>

Selección del radio modem.

Los criterios de selección del radio modem fueron determinados por los pasantes. Definieron y dieron peso (en porcentaje) a cada uno de los requerimientos con los que debía cumplir el equipo. Cada uno de los pasantes dio porcentaje a cada uno de los requerimientos según su conocimiento (basado en investigaciones), se promediaron los porcentajes para darle un peso final a cada criterio, con el, se creo una matriz de evaluación en donde se calificó las características de radio con una nota de 1 a 5, las notas obtenidas se multiplicaron por el porcentaje (peso) de cada criterio y el resultado ó criterio ponderado se sumo, el equipo que obtuviera la mayor calificación fue el seleccionado.

Criterios de selección de los radios.

En ésta sección se darán a conocer los criterios de selección que se tuvieron presentes para escoger el radio que se ajustara a los requerimientos del proyecto. Para ésta selección de equipos no se tuvieron en cuenta requerimientos de usuario, debido a que la empresa solo pidió buscar la manera de enlazar la variable sensada en el Desarenador con el resto del sistema de instrumentación en la Planta, los requerimientos de usuario fueron reemplazados por requerimientos de proyecto, los cuales fueron planteados por los pasantes.

En el anexo 2 se presentan algunos conceptos referentes a comunicación inalámbrica que serán utilizados en las tablas de especificaciones técnicas de los equipos propuestos.

Requerimientos del proyecto.

- Que garantice un enlace seguro. El radio debe garantizar un flujo de datos constantes, sin que se presenten interferencias y violaciones al contenido de la información.

- Configuración e Instalación fácil y rápida. Se buscan equipos que puedan configurarse e instalarse fácilmente debido a que se quiere ahorrar dinero y tiempo en el mantenimiento del equipo, permitiendo de esta forma que una vez instalados los equipos los técnicos de la planta se encarguen de su sostenimiento.
- Una velocidad de flujo que se ajuste a las velocidades del Bus de Campo. Se requiere que la velocidad de datos del radio sea lo suficientemente rápida para ser compatible con los velocidades que maneja el Bus de Campo, permitiendo una buena sincronización con el resto de los equipos que se conectaran al Bus.

Requerimientos técnicos.

- Trabajar en una banda libre. Se busca evitar costos al tener que pagar una licencia por transmitir en un ancho de banda no libre.
- Que posea una interfase serial RS-485. Se requiere una interfase RS-485 debido a que esta es la interfase que utilizan los equipos y la que se usará para el Bus de campo.
- Que posea modo transparente de transmisión de datos. Este modo proporciona una manera rápida para enviar la información sin la necesidad de controlar el flujo de datos y sin tener un control riguroso en el radio, lo más importante es que se pretende conservar los parámetros del protocolo del Bus de Campo con el objetivo de utilizar el radio como un “cable virtual”.
- Capacidad para cubrir un mínimo de 2Km. El enlace radio que se debe hacer, tiene una distancia de 2Km, esta distancia es la que hay desde el desarenador hasta el extremo norte de la planta.

- Alta sensibilidad. Los radios tienen que tener una buena sensibilidad de recepción para que el enlace sea garantizado, evitando la incomodidad de buscar un punto fijo (exacto) de recepción y tener que evitar costos en la instalación de grandes antenas para aumentar la sensibilidad en la recepción de la señal del transmisor.

Tabla 31. Ponderación para la selección del Radio.

Radio				
	Criterios de selección	% A	% G	% Promedio
Requerimientos de proyecto				
1.	Que garantice un enlace seguro	9	10	9.5
2.	Instalación y configuración fácil y rápida	9	10	9.5
3.	Una velocidad de flujo de acuerdo al bus de datos	15	15	15.0
Requerimientos técnicos.				
4.	Trabajar en una banda libre	12	13	12.5
5.	Que posea una interfase serial RS-485	15	15	15.0
6.	Que posea modo transparente de transmisión de datos	15	15	15.0
7.	Capacidad para cubrir un mínimo de 2 Km	15	15	15.0
8.	Alta sensibilidad	10	7	8.5
Total		100	100	100

% A = Pasante - Alexander Quijano.

% G = Pasante - Guillermo González.

En la tabla 32 se presentan las principales características de los radios propuestos.

Tabla 32. Comparación entre Radio 9XStream – 192 y radio Elpro 905 U-D

	Características	Radio 9XStream - 192	Radio Elpro 905 U-D
1	Frecuencia de trabajo	902 – 928MHz	902 – 928MHz
2	Banda Libre	Si	Si
3	Velocidad de transmisión	1200bps a 57600baudios	1200 a 115200 baudios
4	Tipo de frecuencia	FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) espectro ensanchado por salto de frecuencia.	FHSS.
5	Modulación	FSK (modulación por conmutación de frecuencia)	FSK.
6	Topología de red	Modo transparente de red: par a par, punto a punto y punto a multipunto.	-Modo Transparente: par a par. -Modo Direccionable:

			<p>multipunto y punto a punto.</p> <p>-Modo Rápido: punto a punto.</p>
7	Funciones Especiales	Comando ER (Contador de error de recepción y transmisión) y Funciones de CRC y autodiagnóstico	Funciones de CRC, BER y funciones de autodiagnóstico
6	Instalación	Instalación del radio fácil, hacer la instalación de la antena con el documento guía.	Instalación fácil, guía paso a paso de instalación.
7	Capacidad de canales	25 canales (a 7 saltos)	100 canales (a 16 saltos)
8	Potencia de transmisión	100mW	1W
9	Sensibilidad de recepción	-107dBm	-120 a -60dBm
10	Distancia de transmisión	-Interiores: 450m. -Exteriores: 11Km, con línea de vista.	Exteriores: 32.18Km, con línea de vista.
11	Puerto serial	Conector DB-9 hembra (RS-232), puede ser configurado como RS-422 y RS-485.	Conector DB-9 hembra, para conexiones RS-232 y RS-485.
12	Consumo de corriente en transmisión	170mA a 7 ó 18V.	350mA a 12V ó 250mA a 24V
13	Consumo de corriente en recepción	70mA a 7 ó 18V.	70mA a 12VDC ó 50mA a 24VDC.
16	Dimensión	6.98 x 13.97 x 2.84cm.	11.4 x 18.5 x 3.05cm.
17	Proveedor	Automatización Ltda.	Powertek Ltda.
18	Tiempo de entrega del equipo	4 a 6 semanas.	6 a 7 semanas.
19	Tiempo de reposición	-Stock 2 días. -Fábrica de 4 a 6 semanas.	-Stock inmediato. -Fábrica de 4 a 5 semanas.
20	Garantía	1 año.	1 año.
21	Precio	Por radio 2'539.240 incluido IVA, 5'078.480 por dos radios-transmisor y receptor.	Por radio 3'123.648 incluido IVA, 6'247.296 por dos radios-transmisor y receptor.

Para mayor información técnica sobre el radio modem 9XStream – 192 ver el anexo 6.

En la siguiente tabla se califica cada uno de los radios respecto a los criterios de selección planteados.

Tabla 33. Matriz de evaluación para el Radio.

			Variantes de concepto			
			A		B	
	Criterios de selección.	% promedio	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
1	Que garantice un enlace seguro	9.5	5	0.48	5	0.48
2	Instalación y configuración fácil y rápida	9.5	5	0.48	5	0.48
3	Una velocidad de flujo de acuerdo al bus de datos	15.0	3	0.45	5	0.75
4	Trabajar en una banda libre	12.5	5	0.62	5	0.62
5	Que posea una interfase serial RS-485	15.0	5	0.75	5	0.75
6	Que posea modo transparente de transmisión de datos	15.0	5	0.75	5	0.75
7	Capacidad para cubrir un mínimo de 2 Km	15.0	5	0.75	5	0.75
8	Alta sensibilidad	8.5	4	0.34	5	0.42
TOTAL		100		4.62		5.00
Orden				2		1
¿Continúa?				No		Si

Concepto A= Radio modem 9XStream – 192.

Concepto B= Radio modem Elpro 905 U-D.

Acotaciones

Radio 9XStream – 192.

Criterio 3 (Una velocidad de flujo de acuerdo al bus de datos): Este radio tiene una velocidad de datos hasta 57.600bps, esta velocidad no aprovecharía la velocidad que tiene el bus de campo en la empresa y provocaría problemas con la sincronización de este. El radio ELPRO tiene una mayor velocidad (115.200bps) para trabajar apropiadamente en el Bus de Campo.

Criterio 8 (Alta sensibilidad): El radio tiene una sensibilidad de recepción de -107dBm, en comparación con el otro radio ELPRO que tiene un rango de sensibilidad de -120 a -60dBm, es un poco menor, pero sin embargo se da un calificación de 4 por que la diferencia entre ellos no es muy marcada.

Equipo seleccionado: Como se muestra en la matriz de evaluación las calificaciones que recibe este radio (ver figura 48) son debido a que cumple satisfactoriamente con los requerimientos para el proyecto, este radio garantiza un enlace seguro a 2Km de distancia (con línea de vista). El radio transmite en banda libre, posee una interfase RS-485 (para comunicación SC100 – radio y al Bus de Campo), tiene un modo transparente de transmisión el cual sirve para ser utilizado como cable virtual para no realizar ningún tipo de programación especial para transmitir y recibir los datos, posee una velocidad adecuada para ingresar al Bus de Campo en la empresa y tiene gran sensibilidad, tiene funciones especiales para garantizar un buen enlace, la instalación de este radio es fácil y no requiere de equipos grandes para instalarlo, por todos estos requerimientos cumplidos y por otras características del radio que ayudan a que la comunicación de esta variable (Turbiedad en el desarenador) sea la mejor, este radio es el adecuado para el proyecto.

A continuación se dan a conocer las características más sobresalientes del radio.

Características:

- Posibilidad de funcionar como repetidor para largas distancias.
- Modo de la transmisión transparente, para transmisiones par a par.
- Modo direccionable, para transmisiones multipunto y punto a punto.
- Modo rápido para transmisiones punto a punto.
- Modo controlado con chequeo de errores CRC.
- Conexión de antena SMA coaxial.

Las especificaciones técnicas del equipo se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 34. Especificaciones técnicas del radio modem ELPRO 905 U-D

Característica	Valor
Frecuencia de trabajo	902 - 928MHz, banda de licencia libre
Tipo de Frecuencia	FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) espectro ensanchado por salto de frecuencia
Modulación	FSK
Velocidad de datos	1200 a 115200 baudios
Rango de transmisión en exteriores con línea de vista	32,18Km
Tiempo de retorno	5ms
Potencia de transmisión	1W
Sensibilidad	-120 a -60dBm
Conexión serial	RS-232 y RS-485.
Consumo de corriente en transmisión	350mA a 12V ó 250mA a 24V
Consumo de corriente en recepción	70mA a 12VDC ó 50mA a 24VDC
Consumo de corriente en modo de ahorro de energía	20mA a 12VDC ó 15mA a 24VDC
Alimentación	10 a 30VDC ó 10 a 24VAC
Temperatura de trabajo	-40 a 70° C
Dimensiones	11,4cm x 18,5cm x 3,05cm
Características de las antenas	
Antena CFD890EL:	
Tipo de antena	Antena ½ onda.
Rango de frecuencia	853 - 930MH
Ganancia	2,15dBi.
Impedancia	50 Ω
Potencia	10W
Longitud	40cm
Peso	200gr
Antena YAGI YU16/900	
Tipo	Yagi
Rango de frecuencia	900 – 930MHz
Ganancia	15dBi
Impedancia	50 Ω
Longitud	2,5m

La antena CFD890EL es una antena básica omnidireccional que trae el equipo (Figura 49), ésta antena es utilizada para cortas distancias pero es perfecta para cubrir la distancia necesaria en el proyecto (2Km). La antena YAGI YU16/900 (figura 50) es utilizada para mayores distancias y una mayor eficiencia en la transmisión.

Figura 49. Antena de media onda omnidireccional.

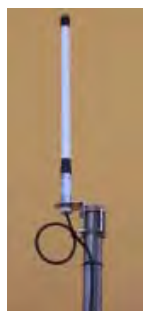
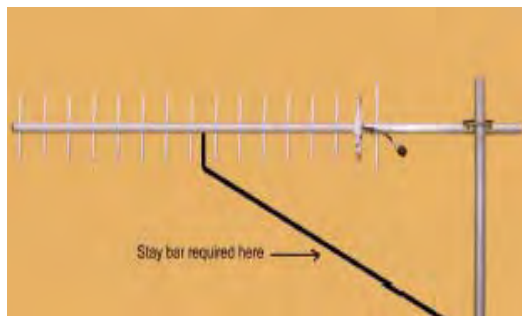


Figura 50. Antena YAGI.



Fuente: ELPRO Technologies. Radios. [en línea]. Queensland: ELPRO Technologies, 2005. [Consultado 10 de noviembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.elprotech.com>

Como se nombro en el análisis del Bus de Campo la velocidad final del Bus se podría ver determina por la velocidad de transmisión de los radios, en las especificaciones técnicas del radio seleccionado (ELPRO 905 U-D) se muestra que la máxima velocidad de transmisión del equipo es de 115,2Kbytes/s. Como se había nombrado en la tabla 26 (Distancias en relación con el medio físico y la velocidad en PROFIBUS DP) la velocidad más adecuada con relación a la máxima distancia a cubrir entre nodos para el proyecto era de 500kb/s, pero debido a que la máxima velocidad de transmisión del radio modem seleccionado es de 115,2kb/s, se debe reducir la velocidad de PROFIBUS DP a 93,75kb/s (ver tabla 26) para evitar formar un cuello de botella en el Bus de Campo, por la diferencia de velocidades entre el Bus y los radios. Cabe aclarar que PROFIBUS DP trabaja sobre unas velocidades fijas (9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500, 1500, 3000, 6000 y 12000kb/s), que de utilizar una velocidad mayor a la seleccionada anteriormente, o sea 187,5kb/s, ésta velocidad superaría la velocidad de transmisión del radio generándose problemas en la transmisión de los datos del desarenador a la Planta.

8.2 COSTO FINAL DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

Como se mostró en los análisis anteriores se precisaron los equipos idóneos que cumplieran con los requisitos que se definieron para el, a continuación se dará un costo general del proyecto donde se incluyen todos los aditamentos que requiere cada equipo para su instalación. En la tabla 35 se da el costo general del proyecto.

Tabla 35. Cotización total del proyecto.

CANT	INSTRUMENTO	VR. UNITARIO (DOLARES)	* VR. UNITARIO IVA INCLUIDO	VR. TOTAL
Equipos de campo para la planta Río Cauca.				
2	Modulo controlador SC1000 (8 entradas digitales).	1.188,00	3'031.776	6'063.552
1	Modulo de pantalla gráfica.	2.736,00	6'982.272	6'982.272
2	Tarjetas de entradas de corriente de 4 – 20mA (4 entradas).	468,00	1'194.336	2'388.672
2	Tarjetas para comunicación PROFIBUS DP.	432,00	1'102.464	2'204.928
				Subtotal 17'639.424
Sondas y Accesorios.				
7	Sensor diferencial de PH DPD1P1.	943,20	2'407.046	16'849.324
7	Sensor de turbiedad SOLITAX SC.	3.345,60	8'537.971	59'765.798
1	Sensor de oxigeno disuelto LDO.	1.496,00	3'817.792	3'817.792
4	Cable de intercomunicación digital Long. 15m (sensor – controlador).	204,00	520.608	2'082.432
7	Cable de intercomunicación digital Long. 100m (sensor – controlador).	425,00	1'084.600	7'592.200
				Subtotal 90'107.546
Equipos de campo para el desarenador (planta Puerto Mallarino).				
1	Sensor de Turbiedad Solitax con un controlador SC 100	4.896,00	12'494.592	12'494.592
1	Tarjeta de comunicación PROFIBUS DP para el controlador SC 100.	450,00	1'148.400	1'148.400
				Subtotal 13'642.992
Analizador de Aluminio.				
Analizador de aluminio en línea marca STS Capital Control modelo AL1000.		14.970,00	38'203.440	38'203.440
				Subtotal 38'203.440
PLC maestro PROFIBUS DP.				
Sistema interfaz profibus DP marca ABB modelo AC800M. (Incluye módulos CPU, fuente de alimentación, módulo PROFIBUS DP clase 1 y cables de conexión)		2.835,00	7'234.920	7'234.920
Modulo de entradas análogas marca ABB modelo AL810.		545,00	1'390.840	1'390.840
Opcional: Software de programación para plc ABB.		1.070,00	2'730.640	2'730.640
Cable RS-485 Calibre 24 (280 METROS)			4.617	1'292.704
				Subtotal 12'649.104
Enlace radio entre el desarenador (Planta puerto mallarino) y la Planta Río Cauca.				
2	Radio modem marca ELPRO Technologies modelo 905U-D.	1.224,00	3'123.648	6'247.296
2	Antena dipolo omnidireccional modeloCFD890EL.	160,00	408.320	816.640
2	Baterías estacionarias de 12V.	47,50	121.220	242.440
				7'306.376
* VR. UNITARIO: Esta calculado con una tasa representativa de 1 dólar=2200 pesos y un IVA del 16%.			TOTAL	179'548.882

En el anexo 8 del proyecto se da información más detallada de las cotizaciones realizadas para cada uno de los equipos propuestos en el proyecto.

8.3 DISEÑOS Y DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS

En la figura 51 se muestra la distribución jerárquica de todos los equipos involucrados en el proyecto, y los dispositivos del sistema Multiparamétrico HACH. En la parte inferior izquierda del gráfico se muestran 16 sondas digitales que estarán distribuidas en campo, recordemos que estas sondas son: seis sondas de pH (seis en los decantadores), siete sondas de Turbiedad (seis en los decantadores y una en la Cadíca) y una de Oxígeno disuelto (Cadíca). Los controladores SC 1000 administran ocho sondas (máxima capacidad por controlador) digitales por separado, y a través de una pantalla a color sensible al tacto que se puede acoplar a cada uno de ellos, visualizan y registran las medidas entregadas por las sondas, y utilizan un enlace serial PROFIBUS DP para comunicarse con ellas. En los planos 1 y 2 diseñados a escala se muestran los diseños ACAD propuestos para la instalación de los equipos HACH en campo, estos planos están diseñados bajos las normas ANSI para instrumentación. El fin de los planos es servir de guía para la instalación ideal de los equipos en planta; los planos fueron digitalizados basándose en planos a papel que poseía la planta y sobre los cuales se hizo el diseño de la distribución de equipos y el cableado necesario para llevar a cabo la instalación

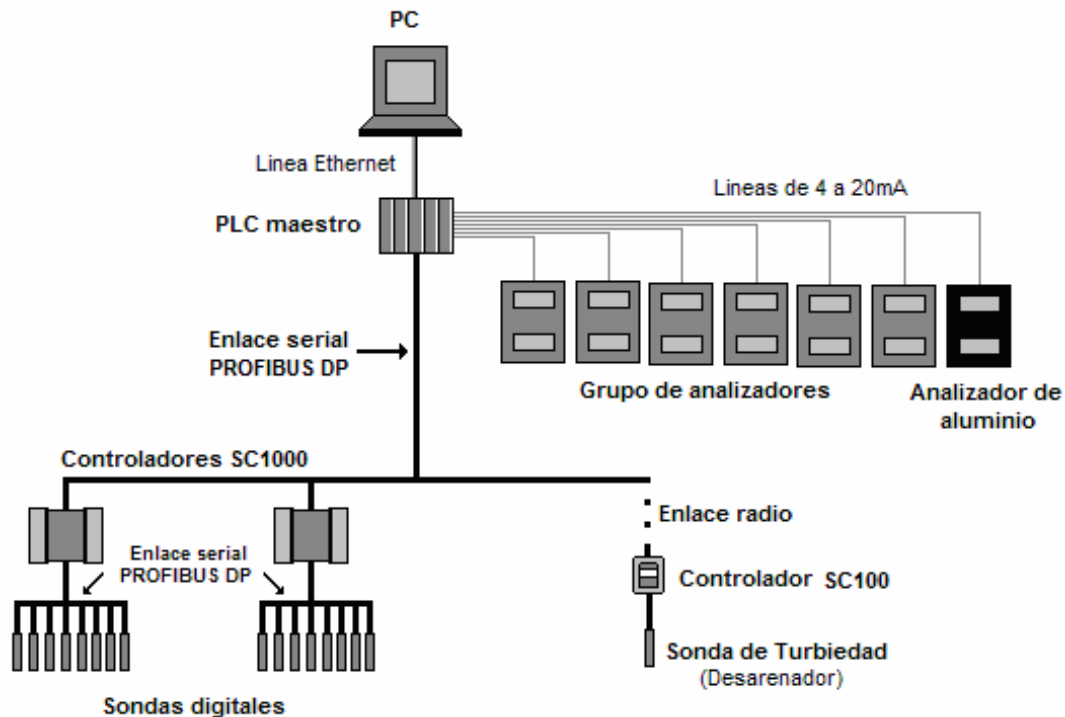
En la sección inferior derecha de la figura 51, se muestra el controlador SC 100 y la sonda digital de Turbiedad que se instalará en el desarenador de Puerto Mallarino, al igual que el SC 1000, el SC 100 utiliza PROFIBUS DP para comunicarse con sus sondas. Este controlador posee una pantalla integrada que registra, configura y controla, las medidas entregadas por la sonda de Turbiedad; de la misma manera que el SC1000, posee una interfaz de salida PROFIBUS DP que le permite comunicarse con otros dispositivos que utilicen este bus de campo. Como se nombro en secciones anteriores, se dispuso que el SC 100 debía comunicarse a través de PROFIBUS DP con el Bus de Campo principal ubicado en la Planta de Río Cauca, para tal fin se usaran dos Radio Modem's en modo transparente, para permitir la transmisión del nivel de Turbiedad sentido en el

desarenador, simulando una conexión serial alambrada RS-485 PROFIBUS DP por medio de los radios. En los Planos 5 y 7 se muestran con detalle, los diseños de la distribución de la sonda de turbiedad, el controlador SC 100 y los Radio Modem's, en el desarenador y la Planta de Río Cauca.

En la figura 51 se ve un Bus de Campo principal PROFIBUS DP, que recorre los dos controladores SC 1000, el controlador SC 100 por medio de un enlace radio, y un PLC maestro que se encarga de administrarlo y controlarlo. El PLC maestro PROFIBUS DP es quien se encarga de administrar y controlar el acceso al Bus de Campo, decide cual de los equipos conectados al enlace serial podrá usar el canal de comunicaciones del bus, tiene la capacidad de dar un reset general a todos los equipos conectados, y a través de el, realizar mando a cada uno de ellos. Como se muestra en la figura 51, el PLC maestro deberá adquirir señales análogas provenientes de siete analizadores, entre ellos, el analizador de Aluminio residual propuesto en este proyecto; para ello se dispuso de un módulo análogo acoplado al PLC, que tiene capacidad para ocho señales análogas de entrada, que permitirá que las señales de los analizadores, puedan ser centralizadas con las del resto de los equipos que administra el PLC.

Toda la información que se canalizará a través del PLC maestro se tiene proyectado enviarla a un PC, donde por medio de una interfase gráfica creada con un sistema SCADA, se podrán visualizar y realizar mando a la mayoría de variables y equipos involucrados en el proceso químico; el SCADA que se utilizará para este proyecto ya fue adquirido por la empresa con anterioridad, por lo que no se dará mayor información sobre este; el software es marca PARAGON, y ya fue implementado en otros proyectos de las plantas de acueducto.

Figura 51. Distribución jerárquica con los equipos HACH.



El PC y el PLC maestro se comunicarán por medio de un módulo Ethernet, acoplado a este último a través de una interfase serial RJ-45; el uso de un módulo Ethernet para realizar este enlace, se debe a que en un futuro, este dispositivo permitiría al PLC, integrar una red Ethernet a la cual se sumarían equipos dispuestos para el control de otros procesos (Control de presión, nivel, flujo, etc), ó permitiría, que fuera integrado a la red interna de datos (Intranet) de EMCALI, lo que facilitará centralizar la información de todas las plantas de acueducto. En el plano 8, se muestra el plano ACAD del laboratorio, sobre el cual, se da la ubicación exacta del PLC maestro PROFIBUS DP y el PC.

A pesar de que los equipos del sistema multiparamétrico WTW no fueron seleccionados para el proyecto, también se realizó un análisis de la distribución de equipos y los planos respectivos para ello, para ampliación de esta información ir al anexo 4.

9. CONCLUSIONES

- En un país donde en las ultimas dos décadas la globalización a sido gestora de muchos cambios en los procesos de producción, con la entrada de capitales y empresas al tomar vigencia el TLC (Tratado de Libre Comercio), se hace necesario implementar cadenas productivas estandarizadas y más eficientes, que permitan ser competitivos en el plano local y nacional.
- Creando procesos más eficientes en la producción de Agua potable, se logrará disminuir los costos que acarrea el servicio para los usuarios finales.
- Implementando tecnología que permita facilitar las tareas críticas realizadas por los operadores de la Planta de Acueducto en los procesos de producción de agua potable, se puede llegar a desarrollar nuevas etapas de tratamiento que garanticen un agua más pura.
- Utilizando plataformas de comunicación que permitan enlazar distintas tecnologías, permitirá aprovechar las principales características de cada dispositivo usado, sin necesidad de casarse con todo un sistema o una marca.
- PROFIBUS DP como plataforma de comunicación y Bus de Campo, permitirá lograr un gran desempeño en la centralización de la información y la implementación de una estructura de control distribuido. Logrará un ahorro sustancial en el cableado necesario para enlazar los dispositivos del sistema, y permitirá crear una estructura organizacional a través de la jerarquización de las comunicaciones.

- Las sondas digitales son instrumentos activos que permiten una mayor precisión en los valores de las variables sensadas, múltiples parámetros medidos en el mismo equipo, autolimpieza, fácil calibración y se comunican cómodamente a través de protocolos digitales. Debido a las características de estos equipos, se convierten en la tecnología más indicada para medir eficientemente las variables analíticas (químicas) planteadas en el proyecto, lo cual permitirá contar con agua más limpia bajo los estándares del decreto 475 del Ministerio salud.
- La implementación de equipos de radio en redes de comunicación industrial que enlazan equipos de monitoreo y control, permiten contar con una herramienta económica cuando se hace necesario enlazar equipos que se encuentran separados por distancias considerables, o ubicados en sitios donde se hace imposible implementar soluciones cableadas.
- La implementación de tecnología electrónica en plantas de tratamiento de agua potable, impulsará su desarrollo y conseguirá que puedan prestar un servicio de mejor calidad a los usuarios, logrando que lleguen a alcanzar un nivel más competitivo en el sector de los servicios públicos.

BIBLIOGRAFÍA

ABB. Automation Inc. [en línea] Producto PLC. Zurich: ABB. Automation Inc, 2005. [Consultado 30 de diciembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.abb.com/control> y <http://www.abb.com/automation>

BALCELLS, Joseph. ROMERAL, José Luís. Autómatas programables: plc. México D.F: Ediciones Marcombo, 1997. 425 p.

Capital Control. Severn Trent Services. Productos para acueductos. [en línea]. Montreal: Capital Control, 2005. [Consultado 10 de noviembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.severntrentservices.com>

ELPRO Technologies. Radios. [en línea]. Loveland: ELPRO Technologies, 2005. [Consultado 10 de noviembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.elprotech.com>

EMCALI Acueducto. Empresas Municipales de Cali (Acueducto) [en línea]. Santiago de Cali: EMCALI, 2005. [Consultado 08 de noviembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.emcali.com.co/acueducto/index.html>

Fieldbus Foundation [en línea]. Columbia: Fieldbud, 2005. [consultado 02 de noviembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.fieldbus.org>

HACH. Proveedor de sistema multiparamétrico [en línea]. Loveland: HACH, 2005. [Consultado 29 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.hach.com> y <http://www.hach-lange.com>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES. ICONTEC. Compendio tesis y otros trabajos de grado. 5ta Actualización. Santa fe de Bogota D.C. ICONTEC, 2002. 1-34 p.

KEMMER, Frank N. Manual del agua (tomo 1): proceso. México, D.F: Mc Graw Hill. 1988. 489 p.

KIELY, Gerald. Ingeniería ambiental. (Vol 2): quimicos. Madrid: Mc Graw Hill. 1999. 841 p.

LENNTECH. Estándares de la calidad del agua potable [en línea]. México D.F.: Estándares de la calidad del agua potable, 1990. [Consultado 07 noviembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.lenntech.com/español.html>

MaxStream. Radio Modem [en línea]. Orem: MaxStream, 2005. [Consultado 10 de noviembre de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.maxstream.net>

MOGOLA LAPEÑA, Miguel. Tratamiento de aguas industriales: aguas de procesos residuales. Barcelona: Marcombo Boixareu editores, 1989. 155 p.

Profibus. Organización Profibus [en línea]. Miami: Profibus, 2005 [consultado 02 de noviembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.profibus.com>

ProSoft Technology, Inc. PLC [en línea]. Milwaukee: ProSoft Technology, 2005. [Consultado 2 de diciembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.prosoft-technology.com>

R. SCHULZ, Christopher y A. OKUN, Daniel. Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo: procesos. México, D.F: LIMUSA S.A. de C.V. 1990. 391 p.

Rockwell Automation. PLC [en línea]. Miami: Rockwell Automation, 2005. [Consultado 3 de diciembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.rockwellautomation.com>

RODRÍGUEZ PEÑA, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua: operación. Santa fe de Bogota D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995. 115 p.

Wissenschaftlich Technische Werkstätten (WTW). Sistema multiparamétrico [en línea]. Weilheim: WTW, 2005. [Consultado 28 de octubre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.wtw.com>

Schneider Automation Inc. PLC [en línea]. Santa fe de Bogota D.C: Schneider Automation Inc, 2005. [Consultado 5 de diciembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.schneider-electric.com.co>

Siemens AG. PLC [en línea]. Munich: Siemens AG, 2005. [Consultado 8 de diciembre de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.siemens.com/automation>

USFilter Wallace & Tiernan Products. Analizadores [en línea]. Miami: USFilter Wallace & Tiernan Products, 2005. [Consultado 20 de noviembre, 2005]. Disponible en Internet: <http://www.wallaceandtiernan.usfilter.com>

ÍNDICE

Acotación de analizador de aluminio residual AZTEC 1000, 89
Acotación de buses de campo, 99, 100
Acotación de los radios, 117
Acotación de los PLC's, 109
Acotación de sonda de oxígeno disuelto LDO SC, 81
Acotación de sondas de pH, 75
Acotación de sonda de Turbiedad SOLITAX SC, 64
Análisis del sistema actual, 29
Analizador de aluminio residual AZTEC1000, 90, 163
Anexos, 133-119
Antecedentes, 28
Antena CFD890EL del radio modem ELPRO 905 U-D, 119
Antena del radio modem 9XStream – 192, 168
Antena YAGI YU16/900 del radio modem ELPRO 905 U-D, 119
Bibliografía, 127
Buses de campo, 134
Conceptualización del proceso de tratamiento del agua, 22
Características químicas del agua, 22
Captación, 25
Coloides, 22
Color, 22
Conclusiones, 125
Controlador universal SC100, 143
Controlador universal SC1000, 139
Control de pronóstico, 18
Cotización total de los equipos seleccionados, 120
Cotización de equipos y empresas proveedoras, 177-184
Criterios de selección de bus de campo, 92
Criterios de selección del PLC maestro PROFIBUS DP, 104
Criterios de selección de los radios, 113
Criterios de selección de instrumentos y equipos de sensado, 49
Desarenación, 25
Descripción del problema, 17

Desinfección o poscloración, 27
Diagrama de flujo del tratamiento del agua, 24
Diseño y distribución de equipos, 122
Distribución, 27
Dureza, 23
Electrodo combinado (SENSOLYT SEA), 158
Enlace radio, 111
Filtración, 26
Floculación y sedimentación de flóculos, 26
Herramientas actuales, 35
Información técnica de equipos propuestos, 139
Información técnica de equipos propuestos de HACH, 139
Información técnica de equipos propuestos de WTW, 145
Introducción, 12
Instrumentación de campo y equipos de sensado, 41
Justificación, 19
Metodología, 36
MODBUS (Modicon Bus), 134
Módulo controlador (MIQ/MC), 149
Módulo de abastecimiento de energía (MIQ/PS), 151
Módulo de ramificación (MIQ/JB "Junction Box"), 150
Objetivo general, 15
Objetivos específicos, 16
Olor y sabor, 22
Operaciones del proceso, 25
Participantes, 14
pH, 23
PLC AC 800M de ABB y sus componentes, 109
PLC Controllogix de Allen Bradley y sus componentes, 169
PLC maestro de red Profibus DP, 102
PLC MODICOM TSX PREMIUM de Schneider Electric, 174
PLC S7-300 de Siemens y sus componentes, 171
Pretratamiento químico, 25
Profibus (Process Field Bus), 89, 124
Pronostico, 17
Radio modem 9XStream – 192, 166
Radio modem ELPRO 905 U-D, 118

Referencias bibliográficas, 127

Resultados de la investigación, 38

Requerimientos del bus de campo, 93, 94

Requerimientos del PLC maestro PROFIBUS DP, 104, 105

Requerimiento de usuario particular (sondas), 52

Requerimientos generales de usuario para las sondas, 50

Requerimientos del radio, 113

Requerimientos técnicos generales (sondas), 53

Sabor, 22

Selección de instrumentos y equipos, 41

Selección del analizador de aluminio residual, 84

Selección del bus de campo, 92

Selección de la sonda de Oxígeno disuelto, 77

Selección de las sondas de pH, 66

Selección de las sondas de Turbiedad, 54

Selección del radio modem, 113

Selección de sondas, 53

Sensado de aluminio residual, 47

Sistema 182, 153

Sistema de adquisición y transmisión de datos, 91

Sistema IQ Sensor Net 2020 (Distribución), 161

Sistema multiparamétrico de medición, 41

Sistema multiparamétrico HACH, 42

Sistema multiparamétrico WTW, 44

Sólidos disueltos, 23

Sólidos en suspensión, 23

Sonda de oxígeno disuelto (LDO), 81

Sonda de Oxígeno disuelto (TRIOXMATIC 700 IQ), 159

Sonda de pH tipo diferencial (DPD1P1), 71, 75

Sonda de pH (SENSOLYT 700 IQ), 72, 157

Sonda de turbiedad (Solitax), 60, 65

Sonda de Turbiedad (VISOTURB 700 IQ), 61, 155

Terminal gráfico (MIQ/T2020), 147

Terminal grafico marca Hach, 43

Título del proyecto, 13

Turbiedad, 22

DOCUMENTOS

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1. BUSES DE CAMPO.

MODBUS (Modicon Bus). El MODBUS es un Bus de Campo estándar cuyo medio físico puede ser un enlace serial half duplex (RS-485 ó fibra óptica) ó full duplex (RS-422 ó fibra óptica), en cuyo medio la comunicación es asíncrona, y se pueden obtener velocidades de transmisión que van desde los 75 baudios a los 19.200 baudios; se logra una distancia máxima entre nodos ó estaciones de 1200m sin el uso de repetidores. Dentro de esta estructura se pueden manejar un máximo de 63 esclavos, administrando el acceso al medio la estación maestra.

Se manejan dos tipos de conexiones o enlaces entre el maestro del bus y los esclavos, los enlaces punto a punto y los multipunto. La diferencia entre ambos estriba en el tipo de mensaje enviado por el maestro; para los enlaces punto a punto la estación maestra envía un mensaje demanda, donde pide a un esclavo determinado una tarea específica y el esclavo responde con un mensaje de reconocimiento (ACK – Acknowledge). El enlace multipunto es una comunicación unidireccional que realiza el maestro con todos los esclavos del bus donde los mensajes enviados son datos de configuración ó reset de todo el sistema.

La codificación de los datos en las tramas enviadas por el maestro puede manejarse en modo ASCII ó en el estándar del MODBUS el RTU (Remote Transmisión Unit). A continuación se muestran las principales características del Bus.

- Tecnología de transmisión:
 - Interfaz serial RS-485 o fibra óptica.
 - Velocidad en baudios: entre 75 y 19200.

- Acceso al bus:
 - Según la jerarquía maestro esclavo.
 - Posibilidad de conexiones monomaestro.
 - Se pueden tener 64 estaciones en el bus incluyendo maestro y esclavos.
- Comunicación:
 - Par a par (transmisión de datos de usuario) o Broadcast (comandos de control).
- Velocidad:

Se necesita sólo 1ms para transmitir 512bits de datos de entrada, y 512bits de datos de salida distribuidos en 32 estaciones a una velocidad de 12Mbit/s.
- Funcionalidad:

Permite transmitir datos u órdenes a los esclavos. Existen dos tipos de órdenes básicas:

 - Órdenes de lectura/escritura de datos en el esclavo.
 - Órdenes de control del esclavo ó el sistema de comunicaciones.
- Funciones de seguridad y protección:
 - CRC: Tiene como función realizar el control de errores en la comunicación, garantizando que la información transmitida sea la misma recibida, evitando la pérdida de paquetes de datos.

PROFIBUS DP (Periferia descentralizada). Esta versión del PROFIBUS permite transmitir datos a gran velocidad. Los dispositivos de control central (PLC's/PC's – Maestros del bus) se comunican con los dispositivos de campo por medio de un enlace serial de alta velocidad. El maestro del bus lee de forma cíclica la información procedente de los esclavos, y según la interpretación de los datos escribe información en ellos. Para garantizar que la información enviada por medio del bus sea correcta, se realizan funciones de verificación y control de errores tanto en el maestro como en los esclavos. A continuación se nombran las principales características de PROFIBUS DP:

- Tecnología de transmisión:
 - Interfaz serial RS-485 o fibra óptica.
 - Velocidad en baudios: entre 9,6kb/s y 12Mb/s.
- Acceso al bus:
 - El acceso al bus entre maestros se realiza a través de Token Ring (paso de testigo), y entre esclavos según la jerarquía maestro esclavo.
 - Posibilidad de conexiones monomaestro y multimaestro.
 - Se pueden tener 126 estaciones en el bus incluyendo maestros y esclavos.
- Comunicación:
 - Par a par (transmisión de datos de usuario) o Multicast (comandos de control).
 - Transmisión cíclica de datos entre maestro-esclavo y transmisión acíclica entre maestros.
- Modos de operación:
 - Operate: Transmisión cíclica de datos de entrada y salida.
 - Clear: Se leen las entradas manteniendo las salidas en estado de seguridad.
 - Stop: Sólo se permite la transmisión de datos entre maestros.
- Velocidad:

Se necesita sólo 1ms para transmitir 512bits de datos de entrada, y 512bits de datos de salida distribuidos en 32 estaciones a una velocidad de 12Mbit/s.
- Sincronización:

Los comandos de control permiten la sincronización de entradas y salidas.

 - Modo Sync: Sincroniza salidas.
 - Modo Freeze: Sincroniza entradas.
- Funcionalidad:
 - Transmisión cíclica de datos de usuario entre el maestro y los esclavos.
 - Activación o desactivación dinámica de esclavos DP de forma individual.
 - Chequeo de la configuración del esclavo DP.
 - Sincronización de las entradas y/o salidas.
 - Asignación de direcciones sobre el bus de los esclavos DP.

- Configuración del maestro DP clase 1 sobre el bus.
- Un máximo de 244bytes de entradas y salidas de datos por esclavo.

- Funciones de diagnóstico:
Permiten una rápida localización de los errores. Los mensajes de diagnóstico se transmiten por el bus y se recogen en el maestro, dividiéndose en tres niveles jerarquizados de menor a mayor especialización: relativos a estaciones (se refieren al estado general del dispositivo), relativos a módulos (se refieren a errores en rangos específicos de entrada/salida) y relativos a canales (se refieren a errores en bits individuales de entrada/salida).
- Funciones de seguridad y protección:
 - Temporizador guardián en el esclavo.
 - Protección de acceso para las entradas/salidas de los esclavos.
 - Monitorización de los datos de usuario con un temporizador configurable en el maestro.
- Tipos de dispositivos:
 - Maestro DP clase 1 (DPM1): PLC's maestros y PC's.
 - Maestro DP clase 2 (DPM2): dispositivos de diagnóstico, programación y configuración.
 - Esclavo DP: dispositivos con entradas/salidas digitales o análogas, esclavos, etc.

ANEXO 2. ENLACE RADIO.

A continuación se da explicación para algunos términos técnicos usados en la selección de los equipos propuestos para el enlace radio.

FSK (Frequency Shift Keying). La manipulación por desplazamiento de frecuencia ó FSK, es un tipo sencillo de modulación digital. Es muy similar a la modulación convencional de frecuencia (FM) donde la amplitud de la señal modulada se mantiene constante, a diferencia de la FM, en la FSK la señal

moduladora es una señal binaria que varia entre dos valores discretos de voltaje, pero al igual que esta, la portadora es una señal análoga de frecuencia constante. Los cambios binarios en la señal moduladora, causaran que la señal modulada este variando entre dos frecuencias que dependerán del valor binario modulador.

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). El espectro ensanchado por salto de frecuencia ó FHSS, es una técnica de modulación que permite transmitir señales sobre una portadora que cambia rápidamente de frecuencia, utiliza una secuencia pseudo-aleatoria que solo es conocida por el transmisor y el receptor.

Ventajas:

- Las señales que utilizan esta técnica, son altamente resistentes al ruido y la interferencia.
- Los contenidos de las señales son difíciles de interceptar.
- Puede compartir el ancho de banda con muchos tipos de transmisores convencionales, con la mínima interferencia.

Banda libre. Básicamente es un rango de frecuencias en los que trabajan ciertos equipos de radio, que no necesita ningún tipo de licenciamiento ó registro, ante los entes fiscalizadores del espectro electromagnético de frecuencias (En Colombia el Ministerio de Comunicaciones) para transmitir.

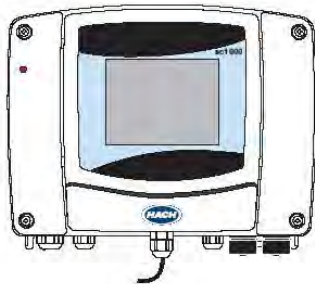
ANEXO 3. SISTEMA MULTIPARAMÉTRICO HACH.

En esta sección se dará información complementaria sobre el controlador SC 1000 y el SC 100 la cual no fue ampliada en el desarrollo del proyecto por no hacer parte crucial de la selección de la sonda idónea (pero si es esencial para el funcionamiento de la misma). Se aclara que no se dará información adicional sobre las sondas digitales de éste fabricante debido a que toda la información está depositada en las tablas comparativas y de especificaciones finales usadas en la selección del equipo.

Controlador universal SC1000.

En la figura 52 se observa el controlador central SC 1000 de HACH, con su pantalla acoplada al controlador. A continuación se presentan las características más sobresalientes del Controlador central SC 1000:

Figura 52. Controlador SC1000 con pantalla acoplada.



Fuente: SC 1000 controller, User Manual (www.hach.com).

- Funcionamiento y visualización: la pantalla gráfica de color, muestra los datos o las curvas de progreso de cuatro sensores al mismo tiempo, y cambia a otros tipos de visualización (touch screen).
- Combinable: en cada estación de medida, un módulo sonda SC 1000 controla hasta ocho sensores digitales simultáneamente, en cualquier combinación específica.
- Ampliable: el controlador reconoce automáticamente los nuevos sensores. Conectar – parametrizar (Plug and Play).
- La pantalla SC 1000 es portátil, muestra los datos de todos los sensores de la red, en medidas y gráficos. La pantalla es sensitiva, permitiendo un fácil control de los parámetros que se necesitan visualizar y la programación del controlador.
- Posee funciones de control y cálculo.

- Módulos de entradas y salidas analógicas de 4 a 20mA.
- Módulos de salidas relés, para funciones de alarma.
- Posee una tarjeta de Bus de Campo que se puede utilizar para transmitir datos, integrar instrumentos, o para la conexión a un sistema de Bus de Campo existente. Dispone de tarjetas de Bus de Campo compatibles con los protocolos Modbus RTU y Profibus DP; el sistema está abierto para protocolos de bus de campo futuros.

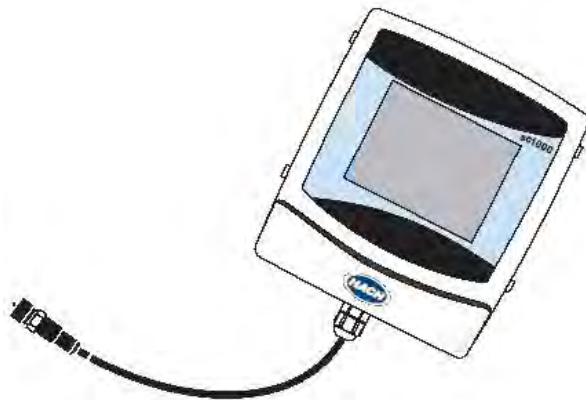
Especificaciones técnicas:

- Tipo de protección:
Caja metálica con superficie resistente a la corrosión, protección IP 65.
- Entradas de sensor:
Opcionales 4, 6 ó 8 sensores digitales (Por defecto 8).
- Temperatura de trabajo:
–20° C a 55° C.
- Alimentación:
100–240VAC ó 24 V DC (máx. 30V).
- Potencia:
75W.
- Dimensiones:
25cm x 31,5cm.
- Peso:
5kg (según nivel de ampliación).

Pantalla:

En la figura 53 se observa la pantalla acoplable del controlador SC 1000. A continuación se presentan las características más sobresalientes de esta pantalla:

Figura 53. Pantalla acoplable al modulo de sonda.



Fuente: SC 1000 controller, User Manual (www.hach.com).

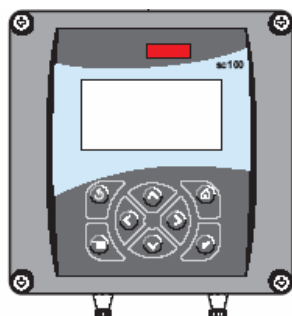
- Pantalla sensitiva.
- Alimentación mediante el controlador.
- Visualización de pantalla QVGA, 320 x 240 píxeles, 256 colores.
- Teléfono de datos tri-banda, con estándares GSM. Todas las funciones de configuración, transmisión de datos de la memoria, instalación de un nuevo software y los diagnóstico de error, se pueden realizar a distancia; los mensajes de incidencias y alarmas pueden ser enviados por SMS (Mensajes de texto a celular) o e-mail.
- Slot para descarga de datos a través de tarjeta multimedia.

- Descarga de datos al PC a través de puerto Ethernet estándar (RJ-45).
- 1,2kg de peso.
- Dimensiones: 20 x 23 x 5cm.

Controlador universal SC100.

En la figura 54 se observa el controlador SC 100 de HACH, cuyas principales características se describen a continuación:

Figura 54. Controlador SC100 con pantalla integrada.



Fuente: SC 1000 controller, User Manual (www.hach.com).

- Unidad de medida con control multiprocesado.
- Pantalla integrada al controlador.
- Despliegue en pantalla del valor medido y de la temperatura ambiente.
- Maneja un máximo de dos sensores digitales.
- Dos salidas análogas.

- 3 salidas de contacto de relé.
- Tarjeta opcional de red PROFIBUS DP.

Especificaciones técnicas:

- Salidas análogas:
Dos salidas de 4 a 20mA con una impedancia máxima de 500ohm.
- Salidas de relé:
3 salidas de relé a 5A.
- Protección:
Protección metálica resistente a la corrosión IP 66.
- Temperatura de operación:
-20 a 65 ° C.
- Dimensiones:
14.4 x 14.4 x 15cm.
- Peso:
1.6kg.

ANEXO 4. SISTEMA MULTIPARAMÉTRICO WTW.

En esta sección se presentan las características complementarias de los controladores de las sondas T2020, C182 y las sondas debido a que no toda la información de los equipos se uso en la selección de las sondas requeridas para el proyecto.

A continuación se describen las características más sobresalientes del sistema Multiparamétrico WTW.

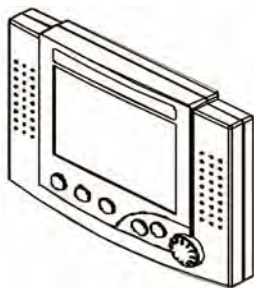
- Un solo controlador para todo el sistema, con capacidad de controlar hasta 20 parámetros de medición y quien será el responsable de toda la comunicación dentro del sistema (Protocolo propietario).
- Pantalla móvil en el cual se pueden visualizar todos los parámetros que se están midiendo.
- Se puede integrar un máximo de tres pantallas en todo el sistema.
- La pantalla puede ser empleada como registrador de datos portátil con capacidad de almacenar más de 60000 valores de medición.
- Es posible a través de una interfaz adicional, leer offline los datos almacenados en la memoria de la pantalla.
- Protección del controlador y de la pantalla IP 66.
- Alimentación de los sensores y equipos a través del cable de red IQ sensor net.
- Permite integrar otros dispositivos ajenos al sistema a través de entradas análogas.
- Comunicación con otros sistemas ó controladores a través de interfases de bus de campo PROFIBUS DP ó MODBUS RTU.
- Es posible instalar salidas de relés y salidas análogas en forma paralela a las salidas digitales.
- Tanto el abastecimiento de energía, como la comunicación dentro del sistema, se realizan a través de un cable especial de dos hilos con chaqueta protectora.

- La comunicación completa del sistema se realiza de forma digital. De esta forma se garantiza una alta precisión en la medición incluso en el caso de grandes distancias entre los componentes del sistema (Se usa un protocolo propietario para la comunicación de los dispositivos).
- Todos los componentes del sistema vienen equipados con una protección integrada de pararrayos.
- En caso de ampliación, los nuevos componentes son reconocidos automáticamente e integrados de forma inmediata por el sistema (Plug and Play).
- Todos los estados y sucesos que se presenten en el sistema se almacenan en un libro de registro interno. El usuario obtiene a través de la pantalla todo tipo de indicaciones acerca de los errores y la solución de los mismos.
- Todos los módulos poseen el mismo aspecto físico y las mismas terminales de conexión, lo que permite un fácil acople entre ellos.

Terminal gráfico (MIQ/T2020):

En la figura 55 se puede observar el Terminal grafico del sistema, que puede ser acoplado a todos los módulos. A continuación se entregan las especificaciones técnicas de la pantalla.

Figura 55. Pantalla acoplable (MIQ/T2020).



Fuente: IQ Sensor Net, (www.wtw.com).

Especificaciones técnicas:

- Acoplamiento de módulos MIQ:
Unión combinada mecánica y eléctrica, para el acoplamiento rápido de los módulos MIQ (Modulo controlador, fuente o sonda).
- Resolución y tamaño de pantalla:
320 x 240píxeles con 114 x 86mm en blanco y negro e iluminación de fondo.
- Memoria de datos:
Programable para almacenar datos de medición durante días, semanas o meses, con visualización grafica de los mismos. Configuración independiente para cada sonda.
- Teclas de función:
5 teclas de manejo: 3 teclas principales para funciones: medir (M), calibrar (C), set/configuraciones del sistema (S), 2 teclas para: confirmación/cambio de menú O.K. (OK)/ escape (ESC), 1 botón de giro para la selección rápida de las funciones de software y la introducción de valores alfanuméricos.
- Material de la carcasa:
ASA (polímero de éster acrílico de acrilonitrilo-estireno).
- Tipo de protección:
IP 66.
- Alimentación:
24VDC mediante acoplamiento del módulo MIQ de alimentación.
- Consumo de potencia:
3,0 vatios.
- Temperatura de trabajo:
-20 ° C a 55 ° C.
- Dimensiones:
21 x 17 x 4cm.

- Peso:
0,7Kg.

Módulo controlador (MIQ/MC):

En la figura 56 se muestra el Modulo MIQ/MC, que es la unidad central responsable de la comunicación en el sistema IQ SENSOR NET 2020.

Figura 56. Módulo controlador (MIQ/MC).



Fuente: IQ Sensor Net, (www.wtw.com).

Especificaciones técnicas:

- Opciones de configuración y comunicación externa:
Compensación de la presión del aire (para la compensación automática durante la medición de Oxígeno). Comunicación a través de RS-232 ó RS-485 para funcionamiento con módem o PROFIBUS DP para la conexión a un bus de campo.
- Alimentación:
A través de la red IQ Sensor Net.

- Consumo de potencia:
1,5 vatios (4 para PROFIBUS DP).
- Temperatura de trabajo:
-20 ° C a 55 ° C.
- Dimensiones:
14,4 x 14,4 x 5,2cm.
- Peso:
0,5kg.

Módulo de ramificación (MIQ/JB “Junction Box”):

El modulo de ramificación (véase figura 57), es un dispositivo pasivo para el paso en bucles, ramificación del sistema y conexión de las sondas IQ. El modulo posee 4 conexiones de igual valor al sistema IQ sensor net.

Figura 57. Módulos de ramificación (MIQ/JB).



Fuente: IQ Sensor Net, (www.wtw.com).

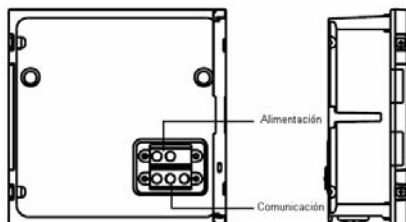
- Compatible:
Es posible utilizar el mismo modulo para el sistema 182.

- Consumo de potencia:
0,1 vatios.

Módulo de abastecimiento de energía (MIQ/PS):

En la figura 58 se puede observar la fuente de energía, que se acopla al controlador para alimentar todo el sistema.

Figura 58. Módulo fuente de energía (MIQ/PS).



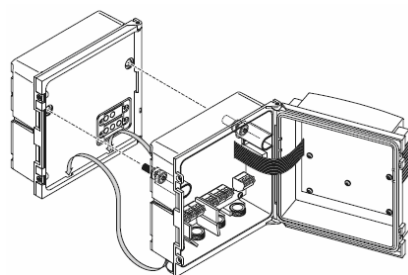
Fuente: IQ Sensor Net, (www.wtw.com).

Especificaciones técnicas:

- Conexión en paralelo:
Es posible emplear hasta 3 MIQ/24V en un sistema IQ SENSOR NET.
- Voltaje de salida:
24 VDC.
- Potencia suministrada:
18 vatios.
- Alimentación:
90 a 264 VAC.

- Consumo de potencia:
25 VA.
- En la figura 59 se muestra la forma de conectar los módulos del sistema:

Figura 59. Acople electromecánico entre módulos.

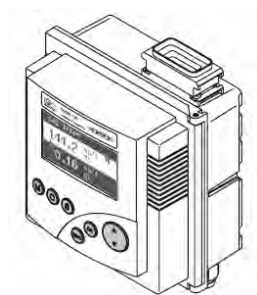


Fuente: IQ Sensor Net, (www.wtw.com).

Sistema 182:

El controlador 182 (ver figura 60) es un convertidor de medición de dos canales, con fuente de alimentación integrada, controlador y unidad de mando. Ofrece la posibilidad de seleccionar entre salidas digitales o análogas.

Figura 60. Controlador 182.



Fuente: IQ Sensor Net, (www.wtw.com).

- Protección contra rayos y sobretensiones para todo el sistema.
- Los datos y la energía se transmiten mediante dos hilos conductores a prueba de polarizaciones inversas.
- Acople mecánico-eléctrico para una rápida integración de otros módulos (módulos MIQ). Se pueden acoplar un máximo de dos piezas.
- Se pueden manejar hasta dos sondas digitales IQ Sensor Net.
- Salida a bus de campo PROFIBUS DP ó MODBUS RTU.

Especificaciones técnicas:

- Pantalla:
Resolución 128 x 64píxeles; área visible: 72 x 40mm, blanco y negro, retroiluminada.
- Botones de funciones:
5 botones de control: 3 teclas maestras para funciones y 2 botones para la selección rápida de las funciones del software y la introducción de valores alfanuméricos.
- Clase de protección:
IP 66.
- Temperatura de trabajo:
-20 ° C a 55 ° C.
- Dimensiones:
14,4 x 14,4 x 9,5cm.
- Peso:
1kg.

SONDAS

Sonda de Turbiedad (VISOTURB 700 IQ):

En la figura 61 se muestra la sonda de Turbiedad del sistema Multiparamétrico WTW.

Figura 61. Sonda VISOTURB 700 IQ.



Fuente: Turbidity and suspended solids, (www.wtw.com).

Principio de medición:

Medición de luz dispersa en concordancia con el método EN ISO 7027 (DIN EN 27027 o ISO 7027).

Especificaciones técnicas:

- Sistema de limpieza:
Automático por ultrasonido.
- SensCheck:
Reconocimiento de cualquier falla en la sonda, reconocimiento de fallas en el sistema de limpieza.
- FOCET:
Función offset integrada y programable.

- Protección:
IP 68.

En la tabla 36 se muestra los rangos de medición de la sonda de turbiedad.

Tabla 36. Rangos de medición por unidades de medida.

Unidades	Rango de medición	Precisión
NTU, FNU, TEF	0 – 0,400	0,001
	0 – 4,00	0,01
	0 – 40,0	0,1
	0 – 400	1
	0 - 4000	1

Fuente: Turbidity and suspended solids, (www.wtw.com).

- Longitud de inmersión:
Mínimo 7cm, máximo 15m.
- Materiales:
Carcasa de la sonda: Acero V4A 1.4571, Ventana de medición: Zafiro.
- Consumo de potencia:
8.0 W.
- Temperatura de trabajo:
0 ° C a 60 ° C.
- Dimensiones:
4x 36,5cm.
- Peso:
90g.

Sonda de pH (SENSOLYT 700 IQ):

La figura 62 se referencia la sonda de pH del sistema Multiparamétrico WTW.

Figura 62. Sonda SENSOLYT 700 IQ.



Fuente: pH/ORP Measurement, (www.wtw.com).

Especificaciones técnicas:

- Rango de medición de pH:
2 a 12pH.
- Precisión:
0,01pH
- Medición temperatura:
Sonda NTC incorporada con rango de medida de -5° C a 60° C.
- Protección:
Aislamiento galvanico que protege contra potenciales ajenos.
- Temperatura de trabajo:
0 ° C a 60 ° C.
- Compensación de temperatura:
Automática de 0 ° C a 60 ° C.
- Resistencia a la presión:
10 bares.

- Dimensiones:
50,8 x 4,0cm.
- Peso:
970g (sin electrodo, sin cable de conexión de la sonda).

En la figura 63 se puede observar el electrodo combinado (SENSOLYT SEA), que utiliza la sonda de pH SENSOLYT 700 IQ. A continuación se dan las especificaciones técnicas del electrodo.

Figura 63. Electrodo SENSOLYT SEA.



Fuente: pH/ORP Measurement, (www.wtw.com).

- Tipo de electrodo:
Electrolito de gel modificado con doble diafragma.
- Rango de medición:
2 a 12pH.
- Materiales:
Membrana cilíndrica de vidrio, armadura protectora de PVC, 2 cierres deslizantes de anillo en O para el montaje en armaduras SensoLyt.
- Temperatura de trabajo:
0° C a 60° C.
- Longitud:
12cm.

Sonda de Oxígeno disuelto (TRIOXMATIC 700 IQ):

En la siguiente figura (figura 64) se muestra la sonda de oxígeno disuelto del sistema Multiparamétrico WTW.

Figura 64. Sonda TRIOXMATIC 700 IQ.



Fuente: Dissolved Oxygen measurement, (www.wtw.com).

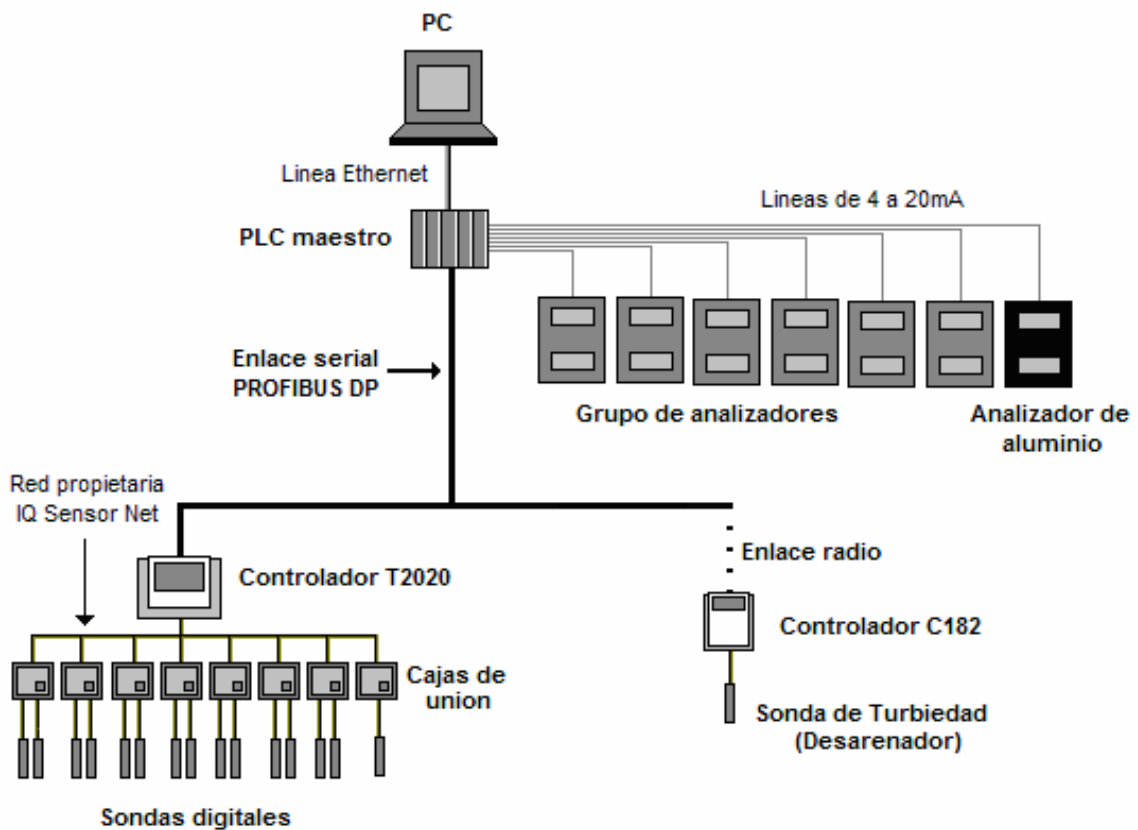
Especificaciones técnicas:

- Principio de medición:
Sistema potencioestático de 3 electrodos (2 electrodos de plata y un cátodo de oro).
- Rango de medición:
0,0 a 60,0mg/L.
- Precisión:
0,1mg/L.
- Saturación de O₂:
0 - 600 %.
- Variación por polarización permanente:
< 1 % / mes.
- Tiempo de reacción a 25° C:
180 s.

- Flujo mínimo:
0,05m/s.
- SensCheck:
Reconocimiento de cualquier falla en la sonda, reconocimiento de fallas en el sistema de limpieza.
- Temperatura de trabajo:
0 ° C a 60 ° C.
- Medición de temperatura:
NTC integrado (-5 ° C a 60 ° C).
- Presión:
10 bares.
- Calibración:
Calibración en el aire, no requiere calibración del punto cero de la sonda.
- Consumo de potencia:
0,2 vatios.
- Peso:
660g (sin cable de conexión).

Diseño y distribución de equipos para WTW. Como se observa en la figura 65, con el sistema Multiparamétrico WTW se podrán instalar un total de quince sondas digitales distribuidas en campo; El controlador T2020 quien es el controlador central del sistema Multiparamétrico WTW, tiene la capacidad de controlar un máximo de veinte sondas digitales, pero la cantidad se puede ver limitada por la potencia consumida por las sondas (Máxima potencia entregada por la fuente, 18W). El controlador se comunica con sus sondas a través de módulos MIQ/JB ó cajas de unión, los cuales, permiten conectar un máximo de dos sondas, alimentarlas y entregarles señales provenientes del controlador central a través del mismo dispositivo.

Figura 65. Distribución jerárquica con equipos WTW.



El sistema Multiparamétrico utiliza un Bus propietario llamado IQ Sensor Net, que le permite al controlador alimentar y recibir señales de las sondas a través de la misma línea, las ventajas que este Bus presenta, son ahorros considerables en el cableado y la organización del sistema. Sobre el Bus propietario, el fabricante no entrega mayor información, tampoco permite integrar sondas digitales de otros fabricantes al sistema; La única opción, es utilizar sondas análogas que se integrarían, acoplando módulos análogos al controlador central. El controlador central trae integrado una interfase PROFIBUS DP, que le permite integrarse a sistemas de nivel superior.

El sistema Multiparamétrico 2020 de WTW, posee un Terminal gráfico en blanco y negro que permite visualizar las medidas sensadas, guardar registros del desempeño de la red y generar estadísticas del comportamiento de las variables.

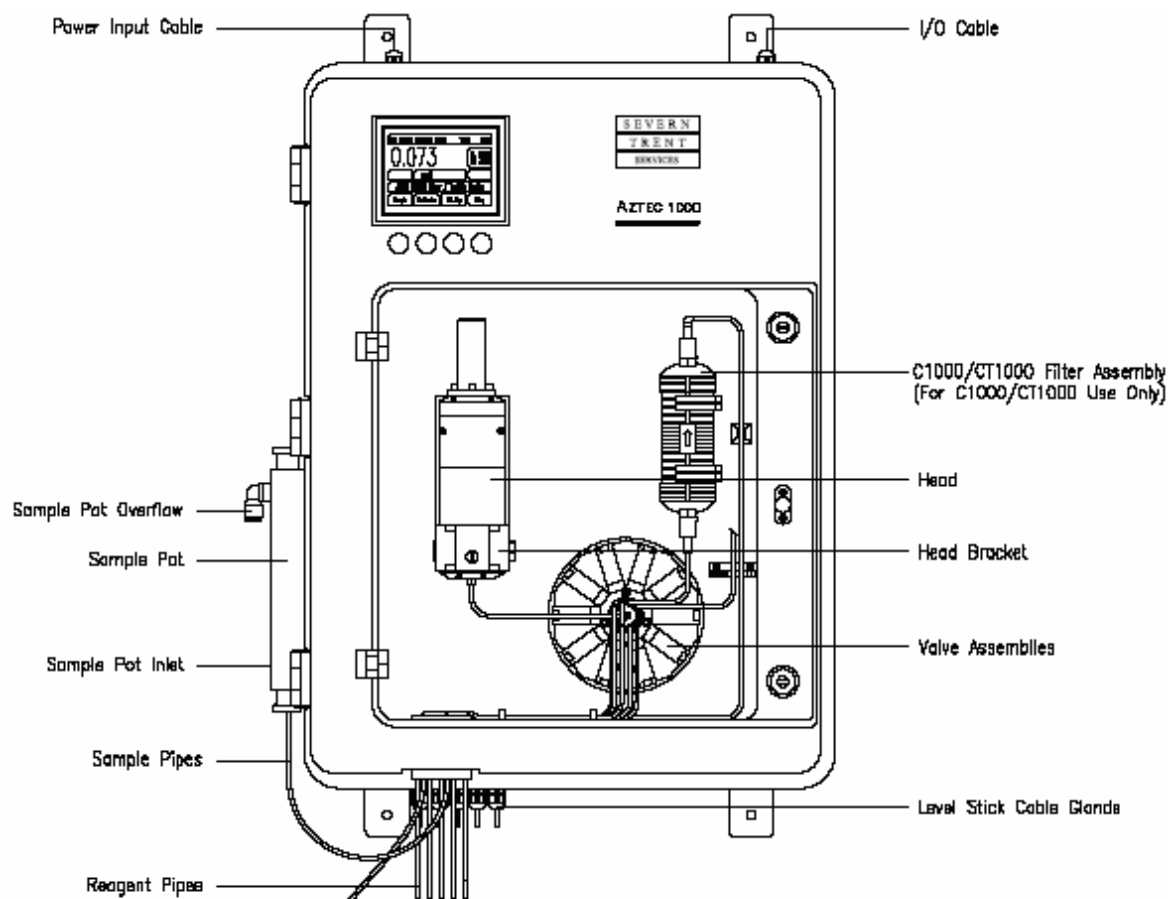
La pantalla del sistema es portátil, y debido a que todos los módulos son físicamente iguales, puede ser acoplada al módulo controlador, ó a cada uno de los módulos MIQ/JB (cajas de unión) ubicados en cercanías de las sondas.

En la parte inferior derecha de la figura 65 se muestra el controlador C182, que tiene la capacidad de manejar un máximo de dos sondas digitales y posee una pantalla integrada que registra las medidas de los instrumentos; a este controlador estará acoplada una sonda de Turbiedad, que se ubicará en el desarenador al igual que se propuso con el controlador SC 100 de HACH, este equipo se integrará al Bus de Campo principal de la Planta de Río Cauca, a través de su interfase PROFIBUS DP y los Radio Modem. En los planos 3, 4, 6 y 7, se muestran los diseños y la distribución detallada de los equipos que se utilizarán en la Planta y el desarenador de Puerto Mallarino.

ANEXO 5. ANALIZADOR DE ALUMINIO RESIDUAL.

En ésta sección se dará a conocer información adicional sobre el desempeño y principio de medición del analizador de aluminio residual AZTEC 1000. En la figura 66 se ilustra el analizador de aluminio señalando sus partes fundamentales.

Figura 66. Montaje de armario AZTEC1000.



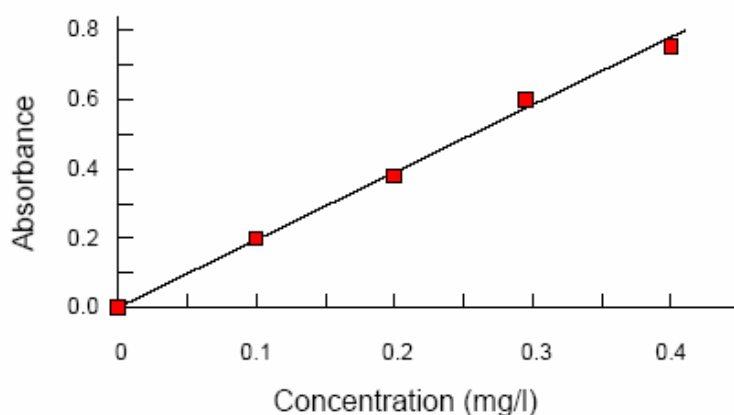
Fuente: Severn Trent Services (www.severntrentservices.com).

Principio de Operación:

El principio de operación del AZTEC1000 es básicamente un método de medición colorimétrico. El método se basa en la reacción de reactivos con la muestra de agua, lo cual causa un cambio de color en la muestra, el cambio de color es medido, cuantificado y convertido en un valor de concentración de aluminio. El reactivo usado para la medida de aluminio es el violeta pyrocatechol.

El método está sustentado en la ley de Beer – Lambert, que define la relación entre la absorción y la concentración de la muestra. Esta ley forma la base de casi todos los métodos quimiométricos para datos espectroscópicos. En forma simple la ley de Beer – Lambert expresa que cuando una Luz de longitud de onda específica es pasada a través de una muestra, allí existe una relación directa entre la concentración de la luz absorbida y la cantidad de energía absorbida (véase figura 67).

Figura 67. Gráfica Energía absorbida vs. Concentración.

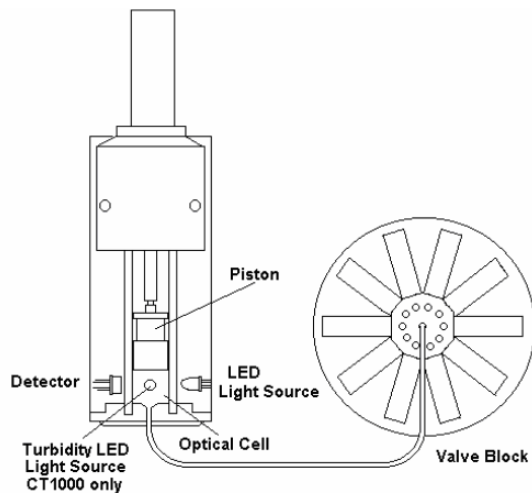


Fuente: Severn Trent Services (www.severntrentservices.com).

Estructura óptica:

En la siguiente figura (figura 68) se puede observar el embalaje óptico del analizador de aluminio.

Figura 68. Embalaje óptico del analizador de aluminio.



Fuente: Severn Trent Services (www.severntrentservices.com).

ANEXO 6. EQUIPOS DE RADIO.

En esta sección se presenta información complementaria sobre el desempeño y las características del radio modem 9XStream – 192, el cual no fue seleccionado para ser empleado en el desarrollo del proyecto y por lo tanto solo se dio la información que los requerimientos exigían sobre el equipo en la selección del equipo idóneo.

Radio modem 9XStream – 192:

El 9XStream - 192 (Véase figura 69) posee una transferencia de datos superior a 19200 baudios. Entre algunas aplicaciones de este radio se encuentran: monitoreo y adquisición de datos (SCADA), telemetría, automatización, seguridad, monitoreo de instrumentos y otras aplicaciones relacionadas. Están contruidos para soportar protocolos de red multipunto.

Figura 69. Radio modem 9XStream - 192.



Fuente: MaxStream (www.maxstream.net).

Su uso convencional radica en su desempeño transparente (Cable virtual). Se conecta al transmisor a través del puerto serial RS 232 (422 ó 485), al equipo desde el cual se enviará la información o se integrará a una red distante y el receptor se conecta al dispositivo que se encargara de canalizar o utilizar los datos provenientes del receptor.

En la tabla 37 se muestran las características del radio modem.

Tabla 37. Características del Radio modem 9XStream – 192.

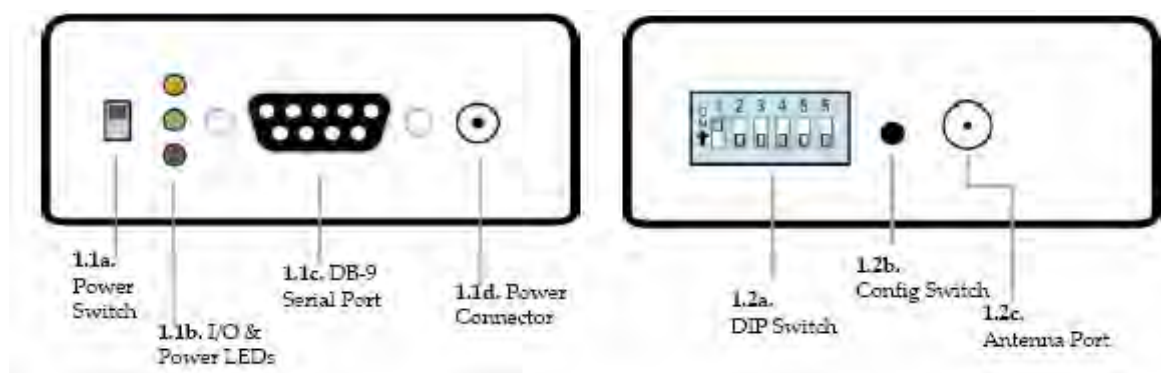
Características	
Alta sensibilidad.	
Bajo consumo de potencia (Puede ser alimentado por batería).	
Protocolo de red simple.	
Interfaz serial estándar.	
Se pueden integrar antenas externas.	
Aprobado por la FCC.	
Especificaciones técnicas	Unidades
Frecuencia de trabajo.	902 - 928MHz, banda de licencia libre
Tipo de Frecuencia.	FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) espectro ensanchado por salto de frecuencia
Modulación.	FSK

Topología de red.	Conexión transparente de red: par a par, punto a punto y punto a multipunto
Capacidad de canales.	7 saltos, 25 canales.
Velocidad de datos.	Velocidad seleccionable a través de software: 1200bps y de 2400 a 57.600bps
Flujo de datos.	19200bps
Potencia de transmisión.	100mW
Sensibilidad de recepción.	-107dBm
Rango de transmisión en interiores (Ambiente industrial).	450m
Rango de transmisión en exteriores con línea de vista.	11km con una antena de dipolo de 2.1dBm y 32km con una antena de alta ganancia.
Puerto serial.	Conector DB-9 (RS-232) hembra, este conector puede ser usado para conexiones RS-422 y RS-485, a través de un dipswitch se configuran los diferentes modos de operación del puerto DB-9 (Véase figura 70).
Alimentación	Voltaje 7-18VDC a través de un conector estándar. También se puede alimentar a través del pin 9 del puerto serial DB-9.
Consumo de corriente en transmisión	170mA.
Consumo de corriente en recepción	70mA
Temperatura de trabajo	-40° C a 85° C
Dimensiones	6,98 x 13,97 x 2,84cm
Peso	200g
Características de la antena	
Tipo de antena	½ onda
Rango de frecuencia	902 – 928MHz
Impedancia	50Ω (desbalanceado)
Ganancia	2.1dBi
Longitud	17,1cm

Fuente: MaxStream (www.maxstream.net).

En las figuras 70 y 71 se muestran la cara anterior del radio y las antenas utilizadas por este.

Figura 70. Cara anterior del radio modem.



Fuente: MaxStream (www.maxstream.net).

Figura 71. Antenas telescópica y articulada.



Fuente: MaxStream (www.maxstream.net).

ANEXO 7. PLC'S MAESTROS DE BUS DE CAMPO PROFIBUS DP.

A continuación se dará a conocer información adicional sobre los PLC's que no fueron seleccionados para el desarrollo del proyecto.

PLC Controllogix (Allen Bradley):

En la tabla 38 se muestran las principales características del PLC Controllogix de Allen Bradley.

Tabla 38. Características y especificaciones de los Módulos del PLC PROFIBUS DP MVI56-PDPMV1

Características	Unidad
Numero de esclavos	Capacidad de controlar hasta 127.
Datos de entrada y salida	Manejo de más 1536bytes datos de entrada y salida
Interfaz	PROFIBUS RS-485 aislado ópticamente
Comunicación	Comunicación no cíclica (DP versión 1).
Especificaciones técnicas	
Puerto PROFIBUS DP	PROFIBUS DP versión 1 RS-485 con conector DB-9 hembra ópticamente aislado.
Puerto serial de configuración:	Puerto RS-232 con conector DB-9
Puerto Ethernet:	Conector RJ-45 con cable de par trenzado 10Base-T para descarga de información.
Velocidades de transmisión	9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500, 1500, 3000, 6000 y 12000kbits/s.
Alimentación	5V
Consumo de corriente	800mA
Temperatura de trabajo	0 a 60° C
Módulo Ethernet 1756-ENBT:	
Características:	
Control distribuido de entradas y salidas.	
Comunicación con HMI.	
Posee un servidor web que permite suministrar información de estado y diagnóstico.	
Suministra control de transferencia y datos simultánea y rápidamente a 10/100 Mbps (full-duplex).	
Procesador de alta velocidad.	
Especificaciones técnicas:	
Puerto Ethernet	Conector RJ-45 para cable de par trenzado 10Base-T ó 100Base-T
Alimentación	5V/24V
Consumo de corriente	700mA a 5VDC y 10mA a 24VDC
Consumo de potencia	4,0W.
Módulo de entradas/salidas analógicas 1756 - IF8:	
Numero de entradas	8 terminales únicos, 4 diferenciales, 2 diferenciales de alta velocidad
Alimentación	5V/24V
Consumo de corriente	150mA a 5V y 40mA a 24V

Fuente de alimentación:	
Voltaje de salida	5V
Corriente de salida	10A
Potencia de salida	70W
Alimentación	85 -132VAC y 170 - 265 VAC
Peso	1,1Kg

Fuente: Datos de Prosoft Technology (www.prosoft-technology.com/support).

El modulo maestro PROFIBUS DP y el modulo Ethernet se pueden observar a continuación (figura 72 y Figura 73).

Figura 72. Módulo maestro PROFIBUS.

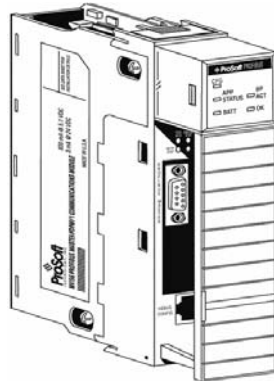


Figura 73. Módulo Ethernet 1756-ENBT



Fuente: Prosoft Technology (www.prosoft-technology.com/support).

PLC S7-300 (Siemens):

Las especificaciones de todos los módulos del PLC S7-300 se muestran en la tabla 39.

Tabla 39. Especificaciones de los módulos del PLC S7-300

Especificaciones básicas:	
Clase de protección	IP 20
Alimentación	24 V DC
Temperatura de trabajo	0 a 60° C
Módulo CPU 315-2 DP:	

Características:	
Procesamiento en aritmética binaria y de coma flotante.	
Interfaz maestro/esclavo PROFIBUS DP.	
Permite configurar estructuras periféricas descentralizadas.	
Tiene la capacidad de manejar un máximo de 16 enlaces DP	
Puede manejar hasta 124 esclavos PROFIBUS DP.	
Manejo de PROFIBUS DP versión 1.	
Requiere de una tarjeta de memoria para la cpu.	
Especificaciones técnicas	Unidad
Velocidad de transmisión	2Mbits/s
Memoria de trabajo	128Kbytes
Memoria de carga	8Mbytes
Puerto PROFIBUS DP	PROFIBUS DP versión 1 RS-485 con conector DB-9 hembra ópticamente aislado.
Alimentación	24VDC
Consumo de corriente	2,5A
Dimensiones	4 x 12,5 x 13cm
Peso	270g
Módulo de entradas análogas EM 331:	
Número de entradas	8
Márgenes de entrada	0 a 20mA, -3,2 a +3,2mA, -10 a +10mA, -20 a +20mA, y 4 a 20mA.
Alimentación	24V
Consumo de corriente	200mA
Consumo de potencia	1,3W
Dimensiones	4 x 12,5 x 12cm
Peso	250g
Módulo Ethernet CP 343-1:	
Características:	
Maneja modo multiprotocolo con protocolos de transporte TCP y UDP	
Conexión dúplex/semidúplex a 10/100Mbps/s.	
Permite programación a distancia y puesta en marcha a través de la red Ethernet (comunicación PG/OP).	
Posee un procesador dedicado a la comunicación	
Este modulo permite la conexión del PLC con unidades de programación, PC's y HMI's	
Especificaciones	
Tipos de comunicación	Protocolo de transporte TCP/IP y UDP, comunicación PG/OP, comunicación S7 (cliente, servidor, multiplexado) y comunicación compatible con S5.
Velocidad de transmisión	10/100Mbps/s
Tipo de conector	RJ-45 hembra.
Alimentación:	5V/24VDC.

Consumo de corriente	160mA
Consumo de potencia	5.8W
Temperatura de trabajo	0 a 60° C
Dimensiones	4 x 12,5 x 12cm
Peso	200g
Fuente de alimentación:	
Especificaciones técnicas:	Unidad
Alimentación	110/220 VAC
Frecuencia nominal	50/60Hz
Voltaje de salida	24V DC
Corriente de salida	5A
Protecciones	-Fusible de entrada incorporado 4 A/250V (no accesible). -Interruptor magnetotérmico en el cable de red (6A).
Dimensiones	50 x 125 x 120mm
Peso	0,74kg.

Fuente: Datos tomados en Siemens AG (www.siemens.com/automation).

En las figuras 74, 75, 76 y 77 se observan los módulos que componen el S7-300.

Figura 74. Modulo CPU 315-2 DP.



Figura 75. Módulo de entradas analógicas EM 331.



Fuente: Siemens AG (www.siemens.com/automation).

Figura 76. Módulo Ethernet CP 343-1.



Figura 77. Fuente de alimentación.



Fuente: Datos tomados de Siemens AG (www.siemens.com/automation).

PLC MODICOM TSX PREMIUM (Schneider Electric):

En la tabla 40 se muestran las principales características del PLC TSX PREMIUM.

Tabla 40. Especificaciones de los módulos del PLC TSX PREMIUM.

Características	
Ofrece distintos protocolos de comunicación por módulos como AS-Interface, Modbus, Modbus plus, Unitelway, Fipio, Fipway, Interbus-S, PROFIBUS DP y TCP/IP (Vía Ethernet).	
Posee un servidor Web embebido en el módulo Ethernet que permite acceder al PLC desde cualquier parte del mundo a través de Internet.	
Puede trabajar como un servidor de datos OPC (Object Link Embedding for Process Control).	
Especificaciones técnicas	Unidad
Máximo número de I/O discretas	1024
Máximo número de I/O análogas	80
Máximo número de conexiones	1 red Ethernet, 4 AS-Interface, 1 CANopen y un INTERBUS ó Profibus DP (Pero no funcionan si el CANopen es activado)
Máximo número de canales de control de procesos	10
Máximo número de canales de aplicación específica	24
Módulo CPU TSX P57 2623M/3623M:	

Especificaciones técnicas:	
Conexiones integradas	1 Ethernet TCP/IP y un enlace serial con dos conectores a 19.2Kbps
Capacidad de memoria	4Mb SRAM
Almacenamiento de datos	2688000 palabras
Tiempo de ejecución por instrucción	-Sin tarjeta: 0,19µs para instrucciones booleanas, 0,25µs para instrucciones en punto fijo y 2,6µs para punto flotante. -Con tarjeta: 0,21µs para instrucciones booleanas, 0,42µs para instrucciones en punto fijo y 2,6µs para punto flotante.
Cantidad de instrucciones ejecutadas en un ms	-Sin tarjeta: 4760 100% booleanas y 3570 65% booleanas con un 35% de instrucciones en punto fijo. -Con tarjeta: 3700 100% booleanas y 2500 65% booleanas con un 35% de instrucciones en punto fijo.
Puertos de comunicaciones	1 puerto de programación con conector miniDIN hembra de 8 pines, 1 puerto auxiliar para conexión de dispositivos periféricos con conector miniDIN hembra de 8 pines y 1 puerto Ethernet con conector RJ45.
Alimentación	100 a 240V AC, 24V DC sin aislar y de 24 a 48V DC aislada.
Consumo de potencia	85W AC y 50W DC
Módulo PROFIBUS DP TSX PBY 100:	
Especificaciones técnicas:	
Cantidad máxima de esclavos	32 sin repetidores ó 126 con repetidores
Cantidad máxima de repetidores	3
Cantidad máxima de entradas/salidas	2048
Puerto Profibus DP	Puerto Profibus DP versión 1 RS-485 con conector DB-9 hembra ópticamente aislado
Modo de transmisión	Half duplex
Velocidad de transmisión	9,6 / 19,2 / 93,75 / 187,5 / 500 / 1500Kbits/s hasta 3 / 6 / 12Mbit/s
Longitud máxima entre dispositivos	- 100m a 3 / 6 / 12Mbit/s (400 m con 3 repetidores). - 200m a 1,5Mbit/s (800 m con 3 repetidores). - 500m a 500Kbit/s (2000 m con 3 repetidores). - 1000m a 187,5Kbit/s (4000 m con 3 repetidores). - 1200m a 9,6 / 19,2 / 93,75Kbit/s (4800 m con 3 repetidores).
Alimentación	5VDC
Consumo de corriente	400mA
Módulo de entradas análogas TSX AEY 810:	
Especificaciones técnicas:	

Número de entradas	8
Tipo de entradas	Entradas aisladas de alto nivel
Resolución	16bits
Duración del ciclo de adquisición	-Rápido: 3,3ms. -Normal: 29,7ms
Gama de medidas	+/- 10V y 0 a 10V 0 a 5V y 1 a 5V 0 a 20mA y 4 a 20mA
Tipo de conector	DB-25
Sobretensión máxima en las entradas	$\pm 30V$ y $\pm 30mA$
Consumo de potencia	3,15W
Fuente de alimentación:	
Especificaciones técnicas:	
Voltaje de salida	5VDC y 24VDC
Corriente de salida	5A a 5VDC y 0.6A a 24VDC
Potencia de salida	25W a 5VDC y 15W a 24VDC
Alimentación	110/240VAC
Consumo de corriente	0.5A a 100VAC y 0.3A a 240VAC
Consumo de potencia	26W

Fuente: Datos tomados de Schneider Electric (www.schneider-electric.com.co).

En las siguientes figuras se muestran los módulos que usa el PLC TSX PREMIUM.

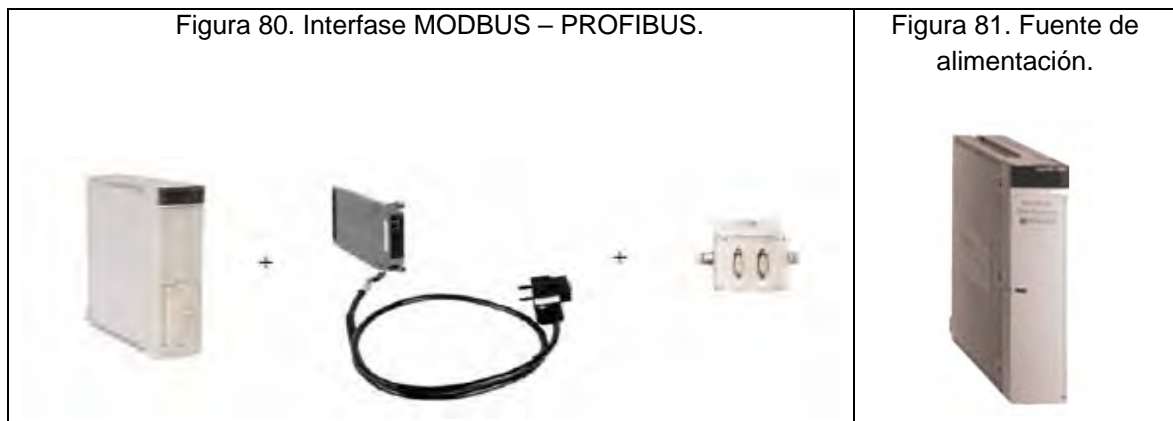
Figura 78. CPU.



Figura 79. Módulo de entradas analógicas.



Fuente: Schneider Electric (www.schneider-electric.com.co).



Fuente: Schneider Electric (www.schneider-electric.com.co).

ANEXO 8. COTIZACIÓN DE EQUIPOS Y EMPRESAS PROVEEDORAS

En las tablas siguientes (Tabla 41, 42, 43, 44, 45, 46 y 47) se detalla las cotizaciones realizadas para los distintos equipos mencionados en el proyecto. Las tablas se organizan por los equipos que ofrecen las diferentes empresas de automatización industrial.

Empresa: Automatización Ltda.
Asesor: Jairo Fernando Vargas (Gerente de ventas).
E-mail: Cali@automatizacion.com
Ciudad: Cali
Dirección: Avenida 3A Bis Norte #52N – 41.
Teléfono: 664-41-33 / 664-70-88.
Fax: 664-72-21.

Tabla 41. Cotización del analizador de aluminio residual, PLC ABB y radio modem MaxStream.

CANT	INSTRUMENTO	GARANTIA	VR. UNITARIO (DOLARES)	* VR. UNITARIO IVA INCLUIDO	VR. TOTAL
Analizador de Aluminio.					
1	Analizador de aluminio en línea marca STS Capital Control modelo AL1000. Posee salida análoga de 4 a 20mA, 6 salidas por contacto programables y puerto RS-232 Incluye reactivos para el análisis de muestra y la fórmula para su fabricación por ser el segundo equipo de este tipo adquirido por la empresa.	1 año.	14.970,00	38'203.440	38'203.440
					Subtotal 38'203.440
Sistema maestro profibus DP.					
1	Sistema interfaz profibus DP marca ABB modelo AC800M. Incluye CPU, fuente de alimentación, modulo profibus y cable de conexión.	1 año.	2.835,00	7'234.920	7'234.920
1	Modulo de entradas análogas marca ABB modelo AL810.	1 año.	545,00	1'390.840	1'390.840
1	Opcional: Software de programación para plc ABB.	1 año.	1.070,00	2'730.640	2'730.640
					Subtotal 11'356.400
Enlace radio entre el desarenador (Planta puerto mallarino) y la Planta Río Cauca.					
2	Radio modem marca maxstream modelo 9XStream-192. Incluye dos antenas de media onda y conectores.	1 año.	995,00	2'539.240	5'078.480
					Subtotal 5'078.240
* VR. UNITARIO: Esta calculado con una tasa representativa de 1 dólar=2200 pesos y un IVA del 16%.					TOTAL 54' 638.320

Empresa: CEIINC- Control e Instrumentación Industrial de Colombia.
Asesor: Fernando Rodríguez (Director de la división de instrumentos en línea).
E-mail: ceiinc.fr@emcali.net.co.
Ciudad: Cali.
Dirección: Calle 10 # 29A – 108 Oficina 304.
Teléfono: 558-25-11 / 558-25-17.
Fax: 558-5704.

Tabla 42. Cotización de equipos de campo HACH.

CANT	INSTRUMENTO	GARANTIA	VR. UNITARIO (DOLARES)	* VR. UNITARIO IVA INCLUIDO	VR. TOTAL
Equipos de campo para la planta Río Cauca.					
2	Modulo controlador SC1000 (8 entradas digitales).	1 año.	1.188,00	3'031.776	6'063.552
1	Modulo de pantalla gráfica.	1 año.	2.736,00	6'982.272	6'982.272
2	Tarjetas de entradas de corriente de 4 – 20mA (4 entradas).	1 año.	468,00	1'194.336	2'388.672
2	Tarjetas para comunicación PROFIBUS DP.	1 año.	432,00	1'102.464	2'204.928
					Subtotal 17'639.424
Sondas y Accesorios.					
7	Sensor diferencial de pH DPD1P1.	30 meses	943,20	2'407.046	16'849.324
7	Sensor de turbiedad SOLITAX SC.	3 años	3.345,60	8'537.971	59'765.798
1	Sensor de oxígeno disuelto LDO.	3 años-sonda. 1 año-capuchón.	1.496,00	3'817.792	3'817.792
4	Cable de intercomunicación digital Long. 15m (sensor – controlador).	1 año.	204,00	520.608	2'082.432
7	Cable de intercomunicación digital Long. 100m (sensor – controlador).	1 año.	425,00	1'084.600	7'592.200
					Subtotal 90'107.546
Equipos de campo para el desarenador (planta Puerto Mallarino).					
1	Sensor de Turbiedad SOLITAX SC con un controlador SC 100 (con capacidad para máximo dos sondas).	2 años-controlador. 3 años-sonda. 1 año-capuchón.	4.896,00	12'494.592	12'494.592
1	Tarjeta de comunicación PROFIBUS DP para el controlador SC 100.	1 año.	450,00	1'148.400	1'148.400
					Subtotal 13'642.992
* VR. UNITARIO: Esta calculado con una tasa representativa de 1 dólar=2200 pesos y un IVA del 16%.					TOTAL 121'389.962

Empresa: B&C Biosciences Ltda.
Asesor: Antonio Bustos Cifuentes (División de Proyectos).
E-mail: byc@bycenlinea.com
Ciudad: Bogotá.
Dirección: Carrera 5N # 45 – 30 Torre 2 oficina 603.
Teléfono: (1) 327-13-90.
Fax: (1) 327-13-91.

Tabla 43. Cotización de equipos de campo WTW.

CANT	INSTRUMENTO	GARANTIA	* VR. UNITARIO IVA INCLUIDO	VR. TOTAL
Equipos de campo para la planta Río Cauca.				
1	Controlador del sistema IQ Net T2020 con salida PROFIBUS DP.	1 año.	8'526.000	8'526.000
1	Terminal de usuario (pantalla).	1 año.	5'336.000	5'336.000
1	Fuente de alimentación de 90 – 264 VAC.	1 año.	4'640.000	4'640.000
8	Módulos de transmisión de datos MIQ JB.	1 año.	667.000	5'336.000
				Subtotal 23'838.000
Sondas y Accesorios.				
7	Sonda de Turbiedad VisoTurb 700IQ, incluye 7m de cable de conexión.	1 año.	9'802.000	68'614.000
7	Sonda de pH SensoLyt, incluye 7m de cable de conexión.	1 año-sonda. 6 meses-electrodo.	5'162.000	36'134.000
1	Sonda de Oxígeno disuelto TriOxmatic 700IQ, incluye 7m de cable de conexión.	1 año.	5'684.000	5'684.000
1	300m de cable de interconexión para señal (Cable de Bus).	1 año.	4.408	1'322.400
1	Cableado de potencia, conduit PVC de ¾" y accesorios de montaje para sensores y módulos.	1 año.	8'120.000	8'120.000
				Subtotal 119'874.400
Equipos de campo para el desarenador (planta Puerto Mallarino).				
1	Controlador del sistema IQ Sensor NET 182 con salida PROFIBUS DP, apto para conectar máximo dos sensores.	1 año.	6'032.000	6'032.000
1	Sonda de Turbidez VisoTurb 700IQ, incluye 7m de cable de conexión.	1 año.	9'802.000	9'802.000
1	100m de cable de interconexión para señal.	1 año.	4.408	440.800
1	Cableado de potencia, conduit PVC de ¾" y accesorios de montaje para sensores y módulos.	1 año.	1'160.000	1'160.000
				Subtotal 17'434.800
* VR. UNITARIO: Esta calculado con un IVA del 16%.				TOTAL 161'147.200

Empresa: POWERTEK Ltda.

Asesor: Gustavo Lenis.

E-mail: powertek@andinet.com.

Ciudad: Yumbo.

Dirección: Carrera 32 # 9 – 69 Conjunto comercial Gleason, bodega No 5.

Teléfono: 665-07-02 / 665-77-02.

Fax: 665-02-42.

Tabla 44. Cotización radio modem ELPRO.

CANT	INSTRUMENTO	GARANTIA	VR. UNITARIO (DOLARES)	* VR. UNITARIO IVA INCLUIDO	VR. TOTAL
Enlace radio entre el desarenador (Planta puerto mallarino) y la Planta Río Cauca.					
2	Radio modem marca ELPRO Technologies modelo 905U-D.	1 año.	1.224,00	3'123.648	6'247.296
2	Antena dipolo omnidireccional modeloCFD890EL.	1 año.	160,00	408.320	816.640
2	Baterías estacionarias de 12V.	1 año.	47,50	121.220	242.440
					Subtotal 7'306.376
2	Opcional: Antena yagui de 15dB modelo YU16/900.	1 año.	332,00	847.264	1'694.528
					Subtotal 1'694.528
* VR. UNITARIO: Esta calculado con una tasa representativa de 1 dólar=2200 pesos y un IVA del 16%.					TOTAL 9'000.904

Empresa: MELEXA Ltda.

Asesor: Víctor López (Asesor de cuentas industriales).

E-mail: vlopez@melexa.com.

Ciudad: Cali.

Dirección: Calle 23 # 5 – 52.

Teléfono: 680-63-00.

Fax: 683-91-90.

Tabla 45. Cotización del PLC maestro Allen Bradley.

CANT	INSTRUMENTO	GARANTIA	VR. UNITARIO (DOLARES)	* VR. UNITARIO IVA INCLUIDO	VR. TOTAL
Sistema maestro profibus DP.					
1	Modulo de comunicación maestro Profibus DP versión 1 marca ControlLogix modelo MVI56-PDPMV1.	1 año.	2.900,00	7'400.800	7'400.800
1	Modulo bridge ethernet 10/100 marca ControlLogix modelo 1756-ENBT.	1 año.	1.296,38	3'308.362	3'308.362
1	Modulo de 8 entradas análogas marca ControlLogix modelo 1756-IF8.	1 año.	700,89	1'788.671	1'788.671
1	Bloque de terminales de 36 pines marca ControlLogix modelo 1756-TBCH.	1 año.	49,38	126.018	126.018
1	Chasis de 4 slot marca ControlLogix modelo 1756-A4.	1 año.	214,47	547.327	547.327
1	Fuente de alimentación de 5V a 10A marca ControlLogix modelo 1756-PB72.	1 año.	593,29	1'514.076	1'514.076
2	Carta de relleno de slot vacío modelo 1756-N2.	1 año.	15,48	39.504	79.008
* VR. UNITARIO: Esta calculado con una tasa representativa de 1 dólar=2200 pesos y un IVA del 16%.					TOTAL 14'764.262

Empresa: SIEMENS S.A.

Asesor: Alexis Moreno.

E-mail: Alexis.moreno@siemens.com.

Ciudad: Cali.

Dirección: Calle 64 Norte # 5B – 146 Oficina 24 Centroempresa.

Teléfono: 664-44-00.

Fax: 665-30-56.

Tabla 46. Cotización del PLC maestro Siemens.

CANT	INSTRUMENTO	GARANTIA	* VR. UNITARIO IVA INCLUIDO	VR. TOTAL
Sistema maestro profibus DP.				
1	Modulo CPU con interfase maestro/esclavo Profibus DP marca Siemens modelo 315-2 DP con 128kbite de memoria. Requiere micro memory card.	1 año.	6'444.212	6'444.212
1	Modulo de comunicación Ethernet marca Siemens modelo CP 343-1.	1 año.	3'133.624	3'133.624
1	Fuente de alimentación con salida a 24VDC y 5 amperios marca Siemens modelo PS 307.	1 año.	648.365	648.365
1	Modulo de 8 entradas análogas marca Siemens modelo EM 331.	1 año.	2'784.899	2'784.899
1	Perfil de montaje 530mm para plc Siemens.	1 año.	159.169	159.169
1	Micro memory card 64Kbytes para CPU 315-2 DP.	1 año.	180.432	180.432
1	Batería de litio para CPU 315-2 DP.	1 año.	59.566	59.566
1	Conector frontal de 40 polos.	1 año.	162.939	162.939
6	Conectores PG Fast Connect.	1 año.	37.901	227.406
* VR. UNITARIO: Esta calculado con un IVA del 16%.				TOTAL 13'800.612

Empresa: CPI Ltda.
Asesor: Freddy Vanegas.
E-mail: cpiltda@cpiltda.com.co.
Ciudad: Cali.
Dirección: Calle 50 Norte # 3CN - 61.
Teléfono: 666-19-74.
Fax: 665-31-74.

Tabla 47. Cotización PLC maestro Schneider.

CANT	INSTRUMENTO	GARANTIA	* VR. UNITARIO IVA INCLUIDO	VR. TOTAL
Sistema maestro profibus DP.				
1	Modulo CPU marca Schneider modelo Modicom TSX Premium con puerto Ethernet y 160Kb de memoria.	1 año.	5'141.961	5'141.961
1	Módulo de comunicación Profibus DP para Premium.	1 año.	5'111.424	5'111.424
1	Rack no extensible de 6 posiciones para Premium.	1 año.	504.252	504.252
1	Fuente de alimentación 110/220 - 26W	1 año.	985.014	985.014
1	Módulo de 8 Entradas analógicas 4 – 20mA, 16 bits.	1 año.	2'017.008	2'017.008
1	Base de precableado 8 Entradas análogas.	1 año.	315.549	315.549
1	PCMCIA de extensión de memoria SRAM.	1 año.	2'972.268	2'972.268
1	Cable conexión módulos entradas análogas y base de precableado.	1 año.	201.150	201.150
1	Desarrollo de la lógica de control.	1 año.	233.334	233.334
1	Ingeniería de Puesta en Marcha en Sitio.	1 año.	603.200	603.200
				TOTAL 18'085.160

ANEXO 9. DECRETO NÚMERO 475 DE 1998

(Marzo 10)

Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA

En ejercicio de las facultades conferidas por el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política y, en desarrollo de las Leyes 09 de 1979 y 142 de 1994

DECRETA:

CAPITULO I

DEFINICIONES

ARTÍCULO 1º. Para los efectos del presente decreto, adóptanse las siguientes definiciones:

ACEPTABLE: Calificativo que aprueba las características organolépticas del agua para consumo humano.

AGUA CRUDA: Es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

AGUA PARA CONSUMO HUMANO: Es aquella que se utiliza en bebida directa y preparación de alimentos para consumo.

AGUA POTABLE: Es aquella que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el presente decreto, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

AGUA SEGURA: Es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad definidas en el presente decreto, puede ser consumida sin riesgo para la salud humana.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD: Es el estudio que permite evaluar los riesgos potenciales a que están sometidos los distintos componentes de un sistema de suministro de agua.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA: Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO: Para los fines del presente decreto se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos en el agua.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA: Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

AUTORIDAD AMBIENTAL: Es la encargada de la vigilancia, recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso, aprovechamiento y control de los residuos naturales renovables y del medio ambiente.

AUTORIDAD SANITARIA: Es la entidad competente del Sistema General de

Seguridad Social (S.G.S.S.), que ejerce funciones de vigilancia de los sistemas de suministro de agua en cumplimiento de las normas, disposiciones y criterios contenidos en el presente decreto, así como los demás aspectos que tengan relación con la calidad del agua para consumo humano.

CALIDAD DEL AGUA: Es el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (CRA): Es la encargada de señalar las políticas generales de administración y control de eficiencia de los servicios públicos domiciliarios.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA: Es la alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.

CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE: Son los análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos realizados al agua en cualquier punto de la red de distribución con el objeto de garantizar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el presente decreto.

CRITERIO DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE: Es el valor establecido para las características del agua en el presente decreto, con el fin de conceptuar sobre su calidad.

DESASTRE: Es el daño o alteración grave de las condiciones normales de vida en un área geográfica determinada, causada por fenómenos naturales y por efectos catastróficos de la acción del hombre en forma accidental o intencional, que requiera por ello de la especial atención de los organismos del Estado y de otras entidades de carácter humanitario o de servicio social.

EMERGENCIA: Es el evento repentino e imprevisto que se presenta en un sistema de suministro de agua para consumo humano, como consecuencia de fallas técnicas, de operación, de diseño, de control o estructurales, que pueden ser naturales, accidentales o provocadas que alteren su operación normal o la calidad del agua, y que obliguen a adoptar medidas inmediatas para minimizar sus consecuencias.

ENSAYO DE TRATABILIDAD: Son los estudios efectuados a nivel de laboratorio o de planta piloto, a una fuente de abastecimiento específica, para establecer el potencial de aplicación de un proceso de tratamiento.

ESCHERICHIA COLI, (E-coli): Bacilo aerobio gram-negativo que no produce esporas, pertenece a la familia de los enterobacteriáceas y se caracteriza por poseer las enzimas b - Galactosidasa y b - gluoroanidasa. Se desarrolla a 44 ± 0.5 °C en medios complejos, fermenta la lactosa liberando ácido y gas, produce indol a partir del triptófano y no produce oxidasa.

FUENTE DE ABASTECIMIENTO: Es todo recurso de agua utilizado en un sistema de suministro de agua.

GRUPO COLIFORME: Es el que comprende todas las bacterias gram Negativas en forma bacilar que fermenta la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas, aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la b galactosidasa.

INDICE COLIFORME: Es la cantidad estimada de microorganismos de grupo coliforme presente en cien centímetros cúbicos (100 cm³) de agua, cuyo resultado se expresa en términos de número más probable (NMP) por el método de los tubos múltiples y por el número de microorganismos en el método del filtro por membrana.

LIBRO O REGISTRO DE CONTROL DE CALIDAD: Es aquel donde se anotan, como mínimo, los siguientes datos: los resultados obtenidos de los análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos del agua que se suministra a la población de acuerdo con los requerimientos del presente decreto, la cantidad de agua captada y suministrada y la cantidad de productos químicos utilizados.

LD50: Dosis letal para el 50% de los organismos en experimentación.

LÍMITE DE DETECCIÓN DE UN MÉTODO ANALÍTICO (LD): Es el valor resultante de multiplicar la desviación estándar de un blanco de reactivos o testigos por una constante igual a 5.5. Los rangos de lectura de los métodos analíticos utilizados para análisis del agua, deben incluir al menos la décima parte del valor máximo admisible o el de referencia.

MUESTRA COMPUESTA DE AGUA: Es la integración de muestras puntuales tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, preparadas a partir de mezclas de volúmenes iguales o proporcionales al flujo durante el período de toma de muestras.

MUESTRA PUNTUAL DE AGUA: Es la toma en punto o lugar en un momento determinado.

NORMA DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE: Son los valores de referencia admisibles para algunas características presentes en el agua potable, que proporcionan una base para estimar su calidad.

PLAN DE ATENCIÓN BÁSICA -P.A.B.-: Es el conjunto de actividades, intervenciones y procedimientos, de promoción de la salud, prevención de la enfermedad, vigilancia en salud pública y control de factores de riesgo dirigidos a la colectividad.

PLAN OPERACIONAL DE EMERGENCIA: Es el procedimiento escrito que permite a las personas que prestan el servicio público de acueducto, atender en forma efectiva una situación de emergencia.

PLANTA DE TRATAMIENTO: Es el conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

PLANTA PILOTO: Es el modelo que permite simular operaciones, procesos y condiciones hidráulicas de la planta de tratamiento utilizando para este efecto el agua de la fuente de abastecimiento.

PERSONA QUE PRESTA EL SERVICIO PÚBLICO DE ACUEDUCTO: Es toda persona natural o jurídica que tiene por objeto la prestación del servicio público de acueducto con las actividades complementarias, de acuerdo con lo establecido en el régimen de los servicios públicos domiciliarios, que cumple su objeto a través de la planeación, ejecución, operación, mantenimiento y administración del sistema o de parte de él, bajo definidos criterios de eficiencia, cobertura y calidad, establecidos en los planes de gestión y resultados.

POBLACIÓN SERVIDA: Es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua.

POLUCIÓN DEL AGUA: Es la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas o microbiológicas del agua como resultado de las actividades humanas o procesos naturales.

SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE: Es el conjunto de obras, equipos y materiales utilizados para la captación, aducción, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua potable para consumo humano.

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD): Es la entidad encargada del control, inspección y vigilancia de las personas que prestan los servicios públicos domiciliarios.

SUSCRIPTOR: Persona natural o jurídica con la cual se ha celebrado un contrato de condiciones uniformes de servicios públicos.

SUSTANCIAS FLOTANTES: Son aquellos materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

TRATAMIENTO: Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas en el presente decreto.

USUARIO: Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde éste se presta, o como receptor directo del servicio, a este último se denomina también consumidor.

VALOR ADMISIBLE: Es el valor establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua de consumo humano no representa riesgo para la salud del consumidor.

VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA: Son las actividades realizadas por las autoridades competentes para comprobar, examinar e inspeccionar el cumplimiento de las normas de calidad del agua potable establecidas en el presente decreto.

CAPITULO II

DISPOSICIONES GENERALES

ARTÍCULO 2º. Las disposiciones del presente decreto son de orden público y de obligatorio cumplimiento y con ellas se regulan las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para consumo humano.

ARTÍCULO 3º. El agua suministrada por la persona que presta el servicio público de acueducto, deberá ser apta para consumo humano, independientemente de las características del agua cruda y de su procedencia.

PARÁGRAFO. Los usuarios propenderán por mantener en condiciones sanitarias adecuadas las instalaciones de distribución y almacenamiento de agua para consumo humano a nivel intradomiciliario.

ARTÍCULO 4º. Las personas que prestan el servicio público de acueducto, son las responsables del cumplimiento de las normas de calidad del agua potable establecidas en el presente decreto, y deben garantizar la calidad del agua potable, en toda época y en cualquiera de los puntos que conforman el sistema de distribución.

PARÁGRAFO. Las personas que prestan el servicio público de acueducto, bajo condiciones normales, deberán garantizar su abastecimiento en continuidad y presión en la red de distribución, acorde con lo dispuesto en los planes de gestión y resultados (PGR), elaborados por las personas que prestan el servicio público de acueducto y aprobados por el Ministerio de Desarrollo Económico, de acuerdo con lo estipulado en la Ley 142 de 1994.

ARTÍCULO 5º. Para los efectos del artículo anterior, la responsabilidad de las

personas que prestan el servicio público de acueducto, será señalada de acuerdo con los siguientes criterios:

a) En zonas urbanas o rurales, la responsabilidad llegará hasta los sitios en donde se hayan instalado dispositivos para regular o medir el agua consumida por los usuarios.

b) No existiendo en zonas urbanas y rurales los dispositivos a que se refiere el literal anterior, la responsabilidad llegará hasta el punto en donde la tubería ingrese a la propiedad privada o hasta el registro o llave de paso, que haya colocado la persona que presta el servicio público de acueducto como punto final de la red de distribución, respectivamente.

CAPITULO III

NORMAS ORGANOLÉPTICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

ARTÍCULO 6º. Las normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable establecidas en el presente decreto rigen para todo el territorio nacional y deben cumplirse en cualquier punto de la red de distribución de un sistema de suministro de agua potable.

NORMAS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS

ARTÍCULO 7º. Los criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable son los siguientes:

CARACTERÍSTICAS	EXPRESADAS EN	VALOR ADMISIBLE
Color Verdadero	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	≤ 15
Olor y Sabor		Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbidez (UNT)	≤ 5
Sólidos Totales	Mg/L	≤ 500
Conductividad	Micromhos/cm	500 – 1000
Sustancias Flotantes	-	Ausentes

ARTÍCULO 8º. Los criterios químicos de la calidad del agua potable son los siguientes:

a) Criterios para elementos y compuestos químicos, diferentes a los plaguicidas y otras sustancias, que al sobrepasar los valores establecidos tienen reconocido efecto adverso en la salud humana:

CARACTERÍSTICAS	EXPRESADAS COMO	VALOR ADMISIBLE mg/L
Aluminio	Al	0.2
Antimonio	Sb	0.005
Arsénico	As	0.01
Bario	Ba	0.5
Boro	B	0.3
Cadmio	Cd	0.003
Cianuro libre y disociable	CN-	0.05
Cianuro total	CN-	0.1
Cloroformo	CHCl ₃	0.03

Cobre	Cu	1.0
Cromo Hexavalente	⁺⁶ Cr	0.01
Fenoles totales	Fenol	0.001
Mercurio	Hg	0.001
Molibdeno	Mo	0.007
Niquel	Ni	0.02
Nitritos	NO ₂	0.1
Nitratos	NO ₃	10
Plata	Ag	0.01
Plomo	Pb	0.01
Selenio	Se	0.01
Sustancias activas al azul de metileno	ABS	0.5
Grasas y aceites	-	Ausentes
Trihalometanos Totales	THMs	0.1

b) Criterios de calidad química para características con implicaciones de tipo económico o acción indirecta sobre la salud.

CARACTERÍSTICAS	EXPRESADAS COMO	VALOR ADMISIBLES mg/L
Calcio	Ca	60
Acidez	CaCO ₃	50
Hidróxidos	CaCO ₃	<LD
Alcalinidad Total	CaCO ₃	100
Cloruros	Cl-	250

Dureza Total	CaCO_3	160
Hierro Total	Fe	0.3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0.1
Sulfatos	SO_4^{-2}	250
Zinc	Zn	5
Fluoruros	F^-	1.2
Fosfatos	PO_4^{-3}	0.2

ARTÍCULO 9º. El valor admisible del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución de agua potable, deberá estar comprendido entre 0.2 y 1.0 mg/litro.

PARÁGRAFO. Cuando se utilice un desinfectante diferente al cloro, los valores admisibles para el residual correspondiente u otras consideraciones al respecto, serán establecidos por el Ministerio de Salud mediante el correspondiente acto administrativo.

ARTÍCULO 10. El valor para el potencial de hidrógeno, pH, para el agua potable deberán estar comprendido entre 6.5 y 9.0.

ARTÍCULO 11. La concentración máxima admisible para cada uno de los siguientes plaguicidas y otras sustancias no consideradas en los demás artículos del presente decreto es de 0.0001 mg/litro:

a) Los plaguicidas y otras sustancias consideradas como cancerígenas, mutagénicas y/o teratogénicas por el Ministerio de Salud o las referencias

reconocidas por el mismo (se excluye el asbesto, pues se considera cancerígeno sólo por inhalación).

b) Los componentes clasificados en la categoría toxicológica I (altamente tóxicos) según la clasificación vigente del Ministerio de Salud.

c) Las sustancias cuyos valores LD_{50} oral más bajo sean menores o iguales a 50 mg/Kg según las referencias reconocidas por el Ministerio de Salud.

d) Aquellos cuya única información, reconocidas por el Ministerio de Salud, los catalogue como muy venenosos, muy tóxicos, muy letales y/o muy peligrosos.

e) Las sustancias desconocidas, extrañas y/o nuevas de origen natural o sintético de las cuales no se tenga conocimiento científico sobre su toxicidad.

ARTÍCULO 12. La concentración máxima admisible para cada uno de los siguientes plaguicidas y otras sustancias no consideradas en los demás artículos del presente decreto, es de 0.001 mg/litro:

a) Los plaguicidas y otras sustancias comprendidas en las categorías toxicológicas II y III (mediana y moderadamente tóxicos) según la clasificación vigente del Ministerio de Salud. Se excluyen las sustancias cancerígenas, mutagénicas y/o teratogénicas según el Ministerio de Salud o las referencias reconocidas por el mismo.

b) Las sustancias cuyos valores LD_{50} oral más bajos se encuentren entre 51 y 5000 mg/Kg según las referencias reconocidas por el Ministerio de Salud. Se excluyen las sustancias cancerígenas, mutagénicas, teratogénicas y/o las de la categoría toxicológica I según el Ministerio de Salud o las referencias reconocidas por el mismo.

ARTÍCULO 13. La concentración máxima admisible para cada uno de los siguientes plaguicidas y otras sustancias no consideradas en los demás artículos del presente decreto, es de 0.01 mg/litro:

a) Los plaguicidas y otras sustancias clasificadas en la categoría toxicológica IV (baja toxicidad) de acuerdo a la clasificación vigente del Ministerio de Salud. Se excluyen las sustancias cancerígenas, mutagénicas y/o teratogénicas según el Ministerio de Salud o las referencias reconocidas por el mismo.

b) Las sustancias cuyos valores LD_{50} oral más bajos se encuentren entre 5001 y 15000 mg/Kg según las referencias reconocidas por el Ministerio de Salud. Se excluyen las sustancias cancerígenas, mutagénicas, teratogénicas y/o las de las categorías toxicológicas I, II y III según el Ministerio de Salud o las referencias reconocidas por el mismo.

c) Aquellos cuya única información, reconocidas por el Ministerio de Salud, los catalogue como de poca, ligera o baja toxicidad.

ARTÍCULO 14. La concentración permisible en el agua potable, para cada uno de los plaguicidas y demás sustancias concernientes a los artículos 11, 12 y 13, será menor que el límite de detección de los métodos analíticos de referencias estandarizados.

ARTÍCULO 15. La concentración total de plaguicidas y demás sustancias concernientes a los artículos 11, 12 y 13, se ajustará de acuerdo a lo siguiente:

a) La suma total de las concentraciones de plaguicidas y demás sustancias, cuyo valor individual máximo admisible sea de 0.0001 mg/litro., podrá ser de 0.001 mg/litro como máximo; en ningún caso podrán ser excedidos los valores individuales.

b) La suma total de las concentraciones de plaguicidas y demás sustancias, cuyo valor individual máximo admisible sea de 0.001 mg/litro, podrá ser de 0.01 mg/litro como máximo, en ningún caso podrán ser excedidos los valores individuales.

c) La suma total de las concentraciones de plaguicidas y demás sustancias cuyo valor individual máximo admisible sea de 0.01 mg/litro, podrá ser de 0.1 mg/litro como máximo; en ningún caso podrán ser excedidos los valores individuales señalados en este artículo.

PARÁGRAFO. Independientemente de lo considerado anteriormente, la suma total de las concentraciones de plaguicidas y demás sustancias concernientes al presente artículo no podrá ser superior a 0.1 mg/litro.

ARTÍCULO 16. Los plaguicidas y las demás sustancias consideradas en los artículos 11, 12 y 13 que deban analizarse en una determinada muestra, se seleccionarán con base en la información que contemple los datos suministrados por los responsables y/o afectados por la eventual presencia de esos tóxicos en el agua. De igual manera, para este efecto y cuando no se tenga la información completa y consistente, se considerarán de acuerdo a la región, las sustancias tóxicas utilizadas, los cultivos y las plagas a combatir, lo mismo que otros factores que conduzcan a establecer los posibles contaminantes, los cuales se confirmarán por los análisis de laboratorio.

ARTÍCULO 17. Cuando por inconvenientes o imposibilidades técnicas de realizar los análisis correspondientes al artículo 16 y/o mientras se implementan las metodologías analíticas respectivas, las personas prestadoras del servicio de acueducto, mínimo realizarán trimestralmente (o en caso de emergencia sanitaria y/o que a juicio de la autoridad sanitaria se requieran), análisis de sustancias indicadoras de la eventual presencia de plaguicidas y/o otros componentes considerados en los artículos 11, 12 y 13, así:

a) Organoclorados persistentes, tales como PCBs, DDT y otros de amplio uso y/o peligrosos como alaclor, aldicarb, benomil, carbofurano, clorpirifos, clordano, 2.4-

D, triazinas, hidrocarburos del petróleo, pentaclorofenol u otros que puedan analizarse mediante pruebas rápidas y específicas de inmunoensayo internacionalmente reconocidas. De esta lista se seleccionará (n) el (los) compuesto (s) a analizar de acuerdo a lo establecido en el artículo 16 del presente decreto.

b) Organofosforados y/o carbamatos inhibidores de la acetilcolinesterasa. El análisis se realizará por inhibición enzimática in vitro de la colinesterasa a través de la técnica analítica validada en el Instituto Nacional de Salud, de acuerdo a lo contemplado en el artículo 16 del presente decreto.

c) También se podrán realizar pruebas biológicas indicadoras de la eventual presencia de plaguicidas u otras sustancias conforme al artículo 16 del presente decreto.

d) En el caso de no realizarse las pruebas contempladas en el presente artículo, se efectuarán los análisis correspondientes de acuerdo al presente decreto.

ARTÍCULO 18. El Ministerio de Salud podrá en cualquier momento establecer los valores máximos admisibles individuales y/o totales para los plaguicidas u otras sustancias, mediante el correspondiente acto administrativo.

ARTÍCULO 19. En la red de distribución de todo sistema de suministro de agua las personas que prestan el servicio público de acueducto, deberán practicar, como mínimo, los siguientes análisis organolépticos y físico-químicos: pH, color, olor, sustancias flotantes, turbiedad, nitritos, cloruros, sulfatos, hierro total, dureza total y cloro residual libre, cuando éste se utilice como desinfectante.

ARTÍCULO 20. La ejecución de los análisis organolépticos, físicos y químicos, requeridos en el artículo anterior se sujetará a las siguientes reglas:

NUMERO DE HABITANTES SERVIDOS	NUMERO MINIMO DE MUESTRAS A ANALIZAR POR MES	INTERVALOMAXIMO ENTRE MUESTRAS CONSECUTIVAS
Menos de 2.500	2	Quincenal
2.501 a 12.500	8	4 días
12.501 a 60.000	15	2 días
60.001 a 100.000	30	1 día
100.001 a 1.000.000	60	2 cada día
más de 1.000.001	240	8 cada día

ARTÍCULO 21. En la red de distribución de todo sistema de suministro de agua, además de los análisis exigidos en el artículo 19 del presente Decreto, se practicará un análisis organoléptico, físico y químico que incluya las otras características señaladas en los artículos 7º, 8º, 9º, 10, 11, 12, 13, 16 y 17 de esta reglamentación, con la frecuencia mínima de acuerdo al número de habitantes servidos y/o que a juicio de la autoridad sanitaria se requieran, así:

HABITANTES	FRECUENCIA MÍNIMA
1 a 500.000	1 anual
500.001 a 1.500.000	1 semestral
más de 1.500.001	1 cuatrimestral

ARTÍCULO 22. Para los efectos del control de la calidad organoléptica, física y química del agua potable, la persona que presta el servicio público de acueducto deberá tener en cuenta que los valores obtenidos, al ser promediados no excedan los valores admisibles señalados en los artículos 7º, 8º, 9º, 10, 11, 12 y 13 del presente decreto. Para establecer los promedios se tendrán en cuenta las siguientes reglas:

NUMERO DE HABITANTES SERVIDOS	PERIODO PARA ESTABLECER PROMEDIOS	FRECUENCIA DEL PROMEDIO
Hasta 2.500	Bimestral	Bimestral
2.500 a 12.500	Mensual	Mensual
12.501 a 60.000	Quincenal	Mensual
60.001 a 100.000	Semanal	Mensual
más de 100.001	Diario	Mensual

ARTÍCULO 23. El número mínimo de muestras exigidas en el artículo anterior, deberán ser consignadas en el libro o registro de control de calidad, por las personas encargadas de la prestación del servicio público de acueducto.

NORMAS MICROBIOLÓGICAS

ARTÍCULO 24. Los métodos aceptados para análisis microbiológico del agua son los siguientes:

PARA ESCHERICHIA COLI: Filtración por membrana y sustrato definido.

PARA COLIFORMES TOTALES: Filtración por membrana y sustrato definido.

PARÁGRAFO. Método de tubos múltiples de fermentación y recuento en placa (siembra en profundidad) se seguirá empleando hasta el año 2000; por lo tanto, a partir de la entrada en vigencia del presente decreto los laboratorios que no empleen los métodos aceptados para análisis microbiológico, deberán implementarlos y estandarizarlos; igualmente se adoptarán otras metodologías debidamente validadas por el Instituto Nacional de Salud y aprobadas por el Ministerio de Salud, mediante el correspondiente acto administrativo.

ARTÍCULO 25. El agua para consumo humano debe cumplir con los siguientes valores admisibles desde el punto de vista microbiológico:

TECNICA UTILIZADA MICROORGANISMOS INDICADORES	FILTRACION POR MEMBRANA	SUSTRATO DEFINIDO	TUBOS MULTIPLES DE FERMENTACION “acceptable hasta el año 2000”
Coliformes totales	0 UFC/100 cm ³	0 microorganismos/100 cm ³	<2microorganismos/100 cm ³
Escherichia coli	0 UFC/100 cm ³	0 microorganismos/100 cm ³	Negativo

PARÁGRAFO PRIMERO. Los resultados de los análisis microbiológicos se deben reportar en las unidades de NMP/100 cm³ (número más probable), si se utiliza la técnica del número más probable o la técnica enzimática de sustrato definido y en UFC/100 cm³ (unidades formadoras de colonia), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

PARÁGRAFO SEGUNDO. Se recomienda un valor máximo admisible de 100 Unidades Formadoras de Colonias (U.F.C.) por 100 centímetros cúbicos (cm³), para microorganismos mesófilos, como prueba complementaria de la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico.

ARTÍCULO 26. Ninguna muestra de agua potable debe contener E-coli en 100 cm³ de agua, independientemente del método de análisis utilizado.

ARTÍCULO 27. El número de muestras para el control de la calidad del agua en análisis microbiológico que deben tomarse en la red de distribución de todo Sistema de Suministro de Agua, deberá corresponder a la población servida, tal

como se establece a continuación:

POBLACIÓN SERVIDA	NUMERO MÍNIMO DE MUESTRAS POR MES	INTERVALO MÁXIMO ENTRE MUESTRAS CONSECUTIVAS
25 a 1.000	1	Mensual
1.001 a 2.500	2	Quincenal
2.501 a 3.300	3	Cada 10 días
3.301 a 4.100	4	1 Semanal
4.101 a 5.800	6	Cada 5 días
5.801 a 7.600	8	Cada 4 días
7.6001 a 12.900	10	Cada 3 días
12.901 a 17.200	15	Cada 2 días
17.201 a 33.000	30	Cada día
33.001 a 59.000	60	2 por día
59.001 a 96.000	90	3 por día
96.001 a 220.000	120	4 por día
220.001 a 320.000	150	5 por día
320.001 a 450.000	180	6 por día
450.001 a 600.000	210	7 por día
600.001 a 780.000	240	8 por día
780.001 a 970.000	270	9 por día
970.001 a 1.230.000	300	10 por día
1.230.001 a 1.520.000	330	11 por día
1.520.001 a 1.850.000	360	12 por día
1.850.001 a 2.270.000	390	13 por día
2.270.001 a 3.020.000	420	14 por día

3.020.001 a 3.960.000	450	15 por día
3.960.001 ó más	480	16 por día

ARTÍCULO 28. El número mínimo de muestras exigidas en el artículo anterior, deben ser analizadas considerando el intervalo estipulado entre muestras consecutivas. Las muestras adicionales que se realicen por incumplimiento de las normas de calidad microbiológica, se consignarán en el libro o registro de control de calidad y serán tenidas en cuenta para evaluar la calidad del agua, por las personas encargadas de la prestación del servicio público de acueducto.

ARTÍCULO 29. Para los efectos del control de la calidad microbiológica del agua potable en lo que se refiere a coliformes totales, las personas encargadas de la prestación del servicio público de acueducto, obtendrán los porcentajes del total de los resultados de las muestras consignadas en el libro o registro de control de calidad; para este efecto los porcentajes se calcularán de la siguiente manera:

$$\% \text{ Aceptabilidad} = \frac{Na \times 100}{NT}$$

NA = Número de muestras Aceptables: Son todas aquellas muestras que cumplen con lo señalado en el artículo 25 del presente decreto.

NT = Número Total de muestras por mes: Es el total de muestras analizadas y registradas en el libro de control por mes.

PARÁGRAFO. Cuando el porcentaje de aceptabilidad se encuentra entre el 95% y 100%, se considera que el agua es apta para consumo humano; pero si dicho porcentaje es menor del 95% se considera que el agua no es apta para consumo humano.

CAPITULO IV

OTRAS DISPOSICIONES

ARTÍCULO 30. Las instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua para determinar su calidad física, química y microbiológica, serán las señaladas por el Ministerio de Salud.

ARTÍCULO 31. Las personas que prestan el servicio público de acueducto deberán realizar directamente o indirectamente los análisis a que se refieren los artículos anteriores como mecanismo de control que obligatoriamente deben ejercer para garantizar la calidad del agua potable, independientemente de los practicados para estudio o vigilancia por parte de las autoridades sanitarias.

ARTÍCULO 32. De conformidad con la Ley 09 de 1979 el Ministerio de Salud podrá, por razones de carácter sanitario o como resultado de investigaciones de orden científico o de su acción de vigilancia, adicionar o complementar el listado de características y normas de calidad del agua potable.

Parágrafo. Las metodologías analíticas para determinar la calidad del agua con destino al consumo humano, deberán estandarizarse, para lo cual se fijará su límite de detección, reproducibilidad (precisión), exactitud (valor verdadero), linealidad (rango dinámico lineal), porcentaje de recuperación y reporte de interferencias. El aval correspondiente lo dará el Instituto Nacional de Salud.

ARTÍCULO 33. Los laboratorios que analicen agua para consumo humano deberán llevar un programa de aseguramiento de la calidad que garantice los resultados obtenidos.

ARTÍCULO 34. Los análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos,

deberán ser efectuados sólo por laboratorios autorizados por el Ministerio de Salud en coordinación con la Superintendencia de Industria y Comercio quien los acreditará; estos laboratorios deberán estar participando en los programas interlaboratorios del control de calidad que liderará el Instituto Nacional de Salud a través de la red laboratorios.

NORMAS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA SEGURA

ARTÍCULO 35. En la eventualidad de un desastre o emergencia, que afecte el normal suministro del agua potable a la población, se tendrán en cuenta las siguientes normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua segura.

ARTÍCULO 36. Criterios de calidad organolépticas y físicas del agua segura son las siguientes:

CARACTERÍSTICAS	EXPRESADAS EN	VALOR ADMISIBLE
Color Verdadero	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	<25
Olor y sabor		Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbidez (UNT)	<-5
Sólidos Totales	mg/L	<1000
Conductividad	microsiemens/cm	<-1500
Sustancias Flotantes	-	Aceptable

ARTÍCULO 37. Criterios de calidad química del agua segura son las siguientes:

a) Normas para elementos y sustancias químicas:

CARACTERISTICAS	EXPRESADAS COMO	VALOR ADMISIBLE mg/L
Aluminio	Al	2.0
Antimonio	Sb	0.02
Arsénico	As	0.05
Bario	Ba	1.0
Boro	B	1.0
Cadmio	Cd	0.005
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0.1
Cianuro total	CN ⁻	0.2
Cloroformo	CHCl ₃	0.7
Cromo Hexavalente	Cr+6	0.025
Cobre	Cu	2.0
Mercurio	Hg	0.002
Molibdeno	Mo	0.2
Níquel	Ni	0.1
Nitritos	NO ₂ ⁻	1.0
Nitratos	NO ₃ ⁻	10
Plata	Ag	0.05
Plomo	Pb	0.02
Selenio	Se	0.015
Sustancias activas al azul de Metileno	ABS	0.7

Grasas y Aceites	mg/L	Ausente
Trihalometanos Totales	THMs	<-1.0

b) Criterios de calidad química para agua segura:

CARACTERISTICAS	EXPRESADAS COMO	VALOR ADMISIBLE mg/L
Calcio	Ca	100
Acidez	CaCO ₃	60
Hidróxidos	CaCO ₃	<LD.
Alcalinidad Total	CaCO ₃	120
Cloruros	Cl ⁻	300
Dureza Total	CaCO ₃	180
Hierro Total	Fe	0.5
Magnesio	Mg	60
Manganeso	Mn	0.15
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	350
Zinc	Zn	10
Fluoruros	F ⁻	1.7
Fosfatos	PO ₄ ⁻³	0.4

PARÁGRAFO. En caso de que se presente una situación de emergencia o un desastre, la persona que presta el servicio público de acueducto, deberá adoptar las medidas correctivas o de mitigación a que haya lugar, e informar inmediatamente del hecho a la autoridad sanitaria competente para que ésta declare la situación de emergencia o desastre correspondiente y ordene la adopción de las medidas pertinentes.

ARTÍCULO 38. El valor admisible del cloro residual libre para el agua segura, deberá estar comprendido entre 0.3 y 1.3 mg/L.

ARTÍCULO 39. El valor para el potencial de hidrógeno, pH. para el agua segura deberá estar comprendido entre 6.5 y 9.0.

ARTÍCULO 40. Las normas microbiológicas y sobre el contenido de plaguicidas y otras sustancias para el agua segura, deberán ser las mismas que para el agua potable.

PARÁGRAFO 1. Los parámetros de agua segura serán aceptados únicamente mientras los sistemas de suministro de agua se encuentran en una situación de emergencia o desastre.

PARÁGRAFO 2. Una vez superada una emergencia o un desastre la persona que presta el servicio público de acueducto deberá suministrar a su población agua potable, de acuerdo a lo establecido en el presente Decreto.

CAPITULO V

VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

ARTÍCULO 41. Las autoridades de Salud de los Distritos o Municipios, ejercerán la vigilancia sobre la Calidad del Agua Potable como parte de las acciones del Plan de Atención Básica PAB en su jurisdicción, y tomarán las medidas preventivas y correctivas necesarias para dar cumplimiento a las disposiciones del presente decreto.

El Ministerio de Salud definirá los instrumentos y procedimientos para realizar la

vigilancia en salud pública de la calidad del agua.

PARÁGRAFO TRANSITORIO. Hasta tanto los municipios cuenten con la infraestructura necesaria para ejercer las funciones de vigilancia sobre la calidad sanitaria del agua para consumo humano, el departamento respectivo ejercerá las funciones a que se refiere el presente capítulo.

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS, FÍSICOS Y QUÍMICOS

ARTÍCULO 42. Las autoridades de Salud de los distritos o municipios, deberán desarrollar acciones de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano, ejecutando además de los análisis exigidos en el artículo 19 del presente decreto, los análisis organolépticos, físicos y químicos que incluyan las características señaladas en esta reglamentación, de acuerdo a la población servida, tal como se establece a continuación:

POBLACIÓN SERVIDA	NUMERO MÍNIMO DE MUESTRAS	INTERVALO MÁXIMO ENTRE MUESTRAS CONSECUTIVAS
Menos de 2.500	1	Cada 60 días
2.501 a 12.500	2	Cada 30 días
12.501 a 60.000	3	Cada 15 días
60.001 a 100.000	4	Cada 7 días
Más de 100.001	6	6 Cada 5 días

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ARTÍCULO 43. Las autoridades de Salud de los Distritos o Municipios, deberán desarrollar acciones de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano, realizando los análisis microbiológicos de acuerdo a la población servida, tal como

se establece a continuación:

POBLACIÓN SERVIDA	NÚMERO MÍNIMO DE MUESTRAS POR MES	INTERVALO MÁXIMO ENTRE MUESTRAS
Menos de 2.500	2	Quincenal
2.501 a 10.000	3	Cada 10 días
10.001 a 50.000	4	1 Semanal
50.001 a 100.000	6	Cada 5 días
100.001 a 780.000	10	Cada 3 días
780.001 a 1.520.000	15	Cada 2 días
Más de 1.520.001	30	Cada día

PARÁGRAFO PRIMERO. Cuando los resultados de los análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, no concuerden con las normas establecidas en el presente Decreto, las autoridades de salud de los distritos o municipios procederán a tomar las muestras que sean necesarias para ubicar la posible falla y tomar las medidas correctivas del caso.

PARÁGRAFO SEGUNDO. El resultado de estos análisis de vigilancia se compararán con los efectuados por las personas que prestan el servicio público de acueducto, con el fin de verificar que dichos análisis de control son acordes con lo establecido en el presente decreto.

PARÁGRAFO TERCERO. De conformidad con lo establecido en el Decreto 1562 de 1984, mediante el cual se regulan las actividades relacionadas con la vigilancia y control epidemiológicos la información recolectada deberá cruzarse con los diferentes entes de control y vigilancia epidemiológica, según sea el nivel, en cuanto hace relación a enfermedades de origen hídrico.

ARTÍCULO 44. Una vez obtenidos los resultados de los análisis organolépticos,

físicos, químicos y microbiológicos, las direcciones departamentales de salud serán las responsables de la recolección y remisión de la información consolidada al Ministerio de Salud, de acuerdo al sistema de información que se establezca.

PARÁGRAFO PRIMERO. La información reportada conforme a la presente disposición se analizará por parte del Ministerio de Salud, en lo concerniente al cumplimiento de los parámetros establecidos en el presente decreto, con el fin de adoptar los correctivos necesarios; así mismo, se comunicará a la Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios, la cual con base en la Ley 142 de 1994 artículo 79.1 y 79.10 y el Decreto 548 de 1995 en su artículo 6.2 literal M, aplicará las medidas pertinentes.

PARÁGRAFO SEGUNDO. El Ministerio de Salud, mediante la expedición del correspondiente acto administrativo, definirá los diferentes códigos que identifiquen las normas de calidad organoléptica, física, química y microbiológica del agua potable, consideradas en el presente decreto.

PARÁGRAFO TERCERO. De conformidad con lo establecido en el Decreto 1562 de 1984, mediante el cual se regulan las actividades relacionadas con la vigilancia y control epidemiológicos, en especial el artículo 14 de dicha reglamentación, la información recolectada del control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano, se suministrará a los diferentes entes de control y vigilancia epidemiológica, si así lo requieren.

ARTÍCULO 45. El Ministerio de Salud, a través de su Dirección General de Promoción y Prevención o la dependencia que haga sus veces, recibirá la información de las diferentes direcciones departamentales de salud con el fin de preparar el informe nacional de calidad de agua y fijar las políticas y estrategias a seguir en materia de calidad del agua potable.

ARTÍCULO 46. Las autoridades de salud de los distritos o municipios encargadas de la vigilancia de la calidad sanitaria del agua para consumo humano, previa

identificación, tendrán libre acceso a los sistemas de suministro de agua, a los libros de registro estadísticos y a los diferentes inmuebles donde se abastezcan del sistema.

PARÁGRAFO. Las demás autoridades, en especial las de policía, prestarán toda la colaboración necesaria para el cumplimiento de las funciones de vigilancia y control.

ARTÍCULO 47. Las autoridades de salud de los distritos o municipios podrán, en cualquier tiempo, informar a las personas que prestan el servicio público de acueducto y a la comunidad en general, las disposiciones contenidas en este decreto, garantizando su cumplimiento y protegiendo a la comunidad, previniendo sobre la existencia de tales disposiciones y los efectos o sanciones que conlleve su incumplimiento, con el objeto de que las actividades, conductas, hechos u omisiones se ajusten a lo establecido en ellas.

Así mismo deberán adelantar campañas y procesos de capacitación, orientados a ilustrar sobre los beneficios de la calidad del agua potable para la comunidad y naturalmente para la salud.

CAPITULO VII

INFORMACIÓN Y REGISTRO

ARTÍCULO 48. Toda persona que preste el servicio público de acueducto, llevará un libro o registro de control de calidad actualizado, que contenga, como mínimo la siguiente información:

- Cantidad de agua captada
- Cantidad de agua suministrada

- Resultados de los análisis organolépticos, microbiológicos, físicos y químicos del agua, de acuerdo con los requerimientos mínimos señalados en el presente decreto.
- Los valores exigidos en los artículos 21, 22, 26 y 28 del presente decreto.
- Cantidad de productos químicos utilizados, tales como coagulantes, desinfectantes, alcalinizantes y otros.

ARTÍCULO 49. Las personas que prestan el servicio público de acueducto deberán tener disponible para el Ministerio de Salud, la Superintendencia de Servicios Públicos, las autoridades de salud del distrito o municipio respectivas y a los demás entes de control y vigilancia, que así lo requieran, la información establecida en el artículo anterior, debidamente diligenciada.

PARÁGRAFO PRIMERO. Las autoridades de salud del distrito o municipio analizarán la información recibida y tomarán las medidas del caso en desarrollo de sus funciones de vigilancia.

PARÁGRAFO SEGUNDO. El resultado de la información anteriormente citada, será determinante en la aplicación del índice de calidad de agua potable, definido por el Ministerio de Salud en coordinación con la Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios, el cual será tenido en cuenta en los planes de gestión y resultados que sean sometidos a aprobación del Ministerio de Desarrollo Económico en los términos establecidos en la Ley 142 de 1994.

CAPITULO VIII

MEDIDAS DE EMERGENCIA

ARTÍCULO 50. Toda persona natural o jurídica que realice diseños o estudios para

un sistema de suministro de agua, deberá incluir en éstos los riesgos y peligros potenciales, mediante un análisis de vulnerabilidad.

ARTÍCULO 51. Toda persona que preste el servicio público de acueducto, deberá tener un plan operacional de emergencia basado en análisis de vulnerabilidad que garantice medidas inmediatas en el momento de presentarse aquella, evitando a toda costa riesgos para la salud.

ARTÍCULO 52. En los planes operacionales de emergencia será prioritario tener en cuenta los riesgos de mayor probabilidad indicados en los análisis de vulnerabilidad.

ARTÍCULO 53. El personal que trabaje en los sistemas de suministro de agua, debe estar capacitado para actuar en situaciones de emergencia.

ARTÍCULO 54. Al declararse estados de emergencia en materia de suministro de agua, los medios alternativos deberán cumplir al menos con las normas sobre calidad del agua segura establecidas en este decreto.

ARTÍCULO 55. En caso de comprobarse el estado de emergencia, las autoridades de salud de los distritos o municipios y las Direcciones Departamentales de Salud, según el caso, podrá solicitar la suspensión del servicio público de acueducto, con el fin de tomar las medidas correctivas necesarias, para evitar riesgos en la salud de la población.

ARTÍCULO 56. El presente decreto rige a partir de la fecha de su publicación y deroga las normas que le sean contrarias, en especial las contenidas en el Decreto 2105 de 1983.

PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE.

Dado en Santa Fe de Bogotá, D. C. a 10 de marzo de 1998.

El Presidente,
ERNESTO SAMPER PIZANO

La Ministra de Salud,
MARÍA TERESA FORERO DE SAADE.

El Ministro de Desarrollo Económico,
CARLOS JULIO GAITÁN GONZÁLEZ.

ANEXO 10

Ingeniero
OSCAR FERNANDO AGREDO
Director programa ingeniería electrónica
Universidad Autónoma de Occidente.

Asunto: Aceptación del informe final de la pasantía.

Con la presente me permito notificarle que el siguiente informe final de la pasantía titulada “optimización del monitoreo y control de la información analítica de la planta de acueducto de río cauca”, desarrollado por los estudiantes ALEXANDER QUIJANO ZORRILLA (Código: 1005152) y GUILLERMO LEÓN GONZÁLEZ CÓRDOBA (Código: 1001246), en la Empresa: EMCALI E.I.C.E E.S.P con una duración de siete meses; cumple satisfactoriamente en contenido y forma con lo planteado inicialmente en el anteproyecto.

Considerando lo anterior, ratifico que este proyecto ha sido revisado y aprobado por cumplir con los estándares de un proyecto de opción de grado.

Cordialmente,

Ingeniero
JOSÉ IGNACIO PÉREZ CHAPARRO.

Santiago de Cali, 3 de Abril de 2006

ANEXO 11

Ingeniero
OSCAR FERNANDO AGREDO
Director programa ingeniería electrónica
Universidad Autónoma de Occidente.

Asunto: Aceptación del informe final de la pasantía.

Con la presente me permito notificarle que el siguiente informe final de la pasantía titulada "optimización del monitoreo y control de la información analítica de la planta de acueducto de río cauca", desarrollado por los estudiantes ALEXANDER QUIJANO ZORRILLA (Código: 1005152) y GUILLERMO LEÓN GONZÁLEZ CÓRDOBA (Código: 1001246), en la Empresa: EMCALI E.I.C.E E.S.P con una duración de siete meses; de la cual soy el asesor empresarial cumple satisfactoriamente en contenido inicialmente estipulado para el desarrollo del proyecto en la empresa.

Cordialmente,

Ingeniero
LUÍS ÁNGEL TOBÓN CASTRO.

Santiago de Cali, 3 de Abril de 2006

ANEXO 12

PROYECTO DE GRADO: OPTIMIZACIÓN DEL MONITOREO Y CONTROL DE LA INFORMACIÓN ANALÍTICA DE LA PLANTA DE ACUEDUCTO DE RÍO CAUCA.

Guillermo León González Córdoba
Alexander Quijano Zorrilla

Universidad Autónoma de Occidente
Calle 25 No. 115 – 85
www.uao.edu.co
Santiago de Cali
2006

Actualmente la planta de acueducto Río Cauca, no tiene un sistema que analice constantemente las variables químicas más importantes del proceso de potabilización del agua, por lo cual se hacen varias propuestas para implementar un sistema general de instrumentación, que permita a los operadores un manejo más efectivo y menos tedioso del proceso.

Keywords: Process control, controller, communications, bus, protocols, networks, instrumentation, signals.

1. INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de la tecnología, se da la posibilidad de monitorear y controlar a distancia instrumentos, que permiten obtener procesos más eficientes, económicos y normativos, los cuales ofrecen un mejor servicio a los usuarios; esto ha llevado a la industria del agua a redefinir los procesos de transformación del líquido, usando como herramientas primordiales, la Instrumentación Electrónica, la Automatización y “las Telecomunicaciones”. Por ello la estandarización de procesos eléctricos y electrónicos, ha hincado en el fondo de este sector productivo.

Este proyecto es una herramienta importante, que

permitirá a EMCALI E.I.C.E. E.S.P y a los operadores de la planta, un manejo más eficiente de los procesos de potabilización del agua y garantizara a los usuarios finales una mejor calidad del líquido, al igual que brindara una visual tecnológica muy amplia para la empresa.

2. NECESIDADES A RESOLVER CON EL PROYECTO

El proceso en la planta es muy fuerte para el operador encargado de la dosificación de químicos, debido a que no cuenta con una medida constante de las variables del proceso que le permita entregar las cantidades exactas, por tanto se hace complicado la toma de decisiones inmediatas si llegasen a cambiar las condiciones del líquido; por tal razón se da la

necesidad de poder ejercer monitoreo del proceso analítico.

3. OBJETIVOS

3.1. *Objetivo general.*

Elaborar un estudio y diseño sobre la implementación de la instrumentación de variables analíticas, como Turbiedad, pH, Aluminio residual y Oxígeno disuelto, en todo el proceso de potabilización de la planta de acueducto Río Cauca.

3.2. *Objetivos específicos.*

Plantear estrategias que permitan un manejo más efectivo en el proceso de operación del tratamiento de agua potable.

Determinar los criterios de selección de los instrumentos a utilizar en las diferentes mediciones del proceso de potabilización del agua.

Seleccionar el sistema de adquisición y transmisión de datos (variables analíticas sensadas) hacia cuarto de operaciones y control.

Analizar la tecnología más adecuada para la implementación de un sistema eficiente y confiable, que garantice la calidad de agua potable bajo los estándares del decreto 475 de marzo de 1998 expedidos por el Ministerio de Salud y las directrices de la O.M.S (Organización Mundial para Salud), para la calidad del agua potable establecidas en Génova Italia en 1993.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para comprender mejor el proyecto, es importante tener claro el proceso que desarrolla la Planta de Río Cauca para el tratamiento del agua. En el siguiente diagrama se ilustra el proceso de Potabilización del líquido.

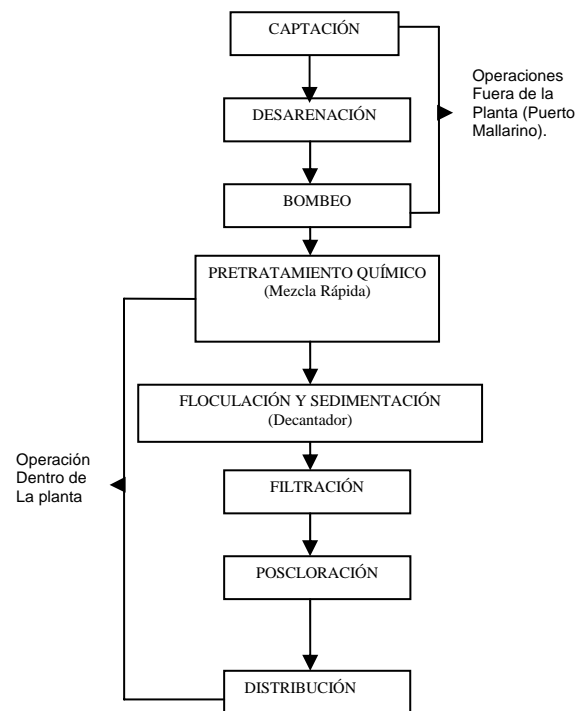


Fig. 1. Diagrama del proceso de la planta río Cauca.

Captación:

La captación del agua se realiza a través de un sistema de sifón ubicado en el fondo del cause. El sifón es una estructura rectangular provista de un emparrillado o rejilla, que permite la retención de los compuestos más grandes que el río transporta.

Desarenación:

Con este proceso se busca que materiales de gran masa como piedras, arena y arenilla sean sedimentados, evitando la obstrucción y el deterioro por rozamiento de las tuberías que transportan el agua.

Pretratamiento químico:

En el pretratamiento químico se busca eliminar las propiedades no deseadas del agua, como el olor, sabor, algas fotosintéticas, algunos patógenos y grandes concentraciones de Hierro y Manganeseo. Básicamente los compuestos químicos utilizados son: Carbón activado, Sulfato de aluminio (Alumbre) y Cloro.

Floculación y sedimentación:

La floculación hace referencia a aquellas partículas que son ayudadas químicamente para aglutinarse y

formar partículas más grandes que puedan ser sedimentadas por acción de la gravedad. En ésta etapa reaccionan los químicos agregados en la fase anterior. El proceso se presenta en los decantadores.

Filtración:

Como su nombre lo indica, este proceso busca eliminar partículas suspendidas en el agua que no fueron sedimentadas en los decantadores; también elimina algunos patógenos y mejora el color del agua. Los filtros utilizados en este proceso son filtros de arena.

Desinfección o poscloración:

En este proceso se neutralizan los microorganismos que aun quedan después de la potabilización, controlando el PH del agua. El componente químico utilizado en el proceso de poscloración es ClO_2 (dióxido de cloro), El cual no afecta el olor, ni el sabor.

Distribución:

Después de haber potabilizado el agua, se realiza el bombeo a alta presión desde el lugar de almacenamiento hasta las tuberías de distribución en la ciudad.

Para resolver las necesidades que se plantearon con anterioridad, se realizó un estudio de las variables y parámetros a medir y controlar dentro del proyecto. Se definió usar en los procesos de Desarenación, Pretratamiento Químico y Sedimentación, sistemas multiparamétricos de medida, los cuales tienen la capacidad de manejar sondas digitales que sensan distintos parámetros y son operados desde un mismo controlador.

Una vez que se definió la instrumentación de campo requerida, se entró a seleccionar un sistema de comunicación que permitiera la centralización de la información y la jerarquización de los equipos. Se puntualizó en trabajar con PROFIBUS DP, un protocolo de Bus de Campo que a través de un enlace serial RS-485, permite conectar hasta 126 estaciones entre maestros y esclavos, maneja una velocidad máxima de transmisión de datos de 12Mb/s. Con el uso de este sistema se requería la utilización de un maestro, quien sería el encargado de administrar el acceso al bus; para ello se planteó la utilización de un PLC maestro que aparte de cumplir esta función, centralizara la información y fuera una interfase entre

la red PROFIBUS DP, y un PC que se encargaría de mostrar los datos y recopilar información de las variables a través de un sistema SCADA.

Dentro de la investigación desarrollada se encontró que era esencial medir el nivel de desperdicio de Sulfato de aluminio (Coagulante), para lo cual se planteó instalar un analizador de aluminio residual que sirve a este propósito; el equipo deberá ser integrado al sistema a través de módulos análogos que permitan acoplarse al sistema central de información.

Aprovechando las bondades del PLC maestro, se integrará el sistema instrumental existente a través de módulos análogos que serán acoplados a este equipo. Los equipos con los que se cuenta son: dos analizadores de pH, dos de Turbiedad y dos analizadores de Cloro, los cuales están muestreando agua al final de dos tubos madre que salen a la ciudad.

5. INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación de este proyecto es muy variada, y el objetivo es integrar todos estos dispositivos para que el operario tenga información general desde un lugar específico de la planta. Esto se consigue por medio de un bus de campo, que va llevar a un punto toda la información de los dispositivos, en este caso llega a un PLC maestro PROFIBUS DP que es el dispositivo capaz de manipular toda la información, aquellos dispositivos que no se puedan conectarse al bus, se conectan directamente a un módulo de entradas análogas que tiene el PLC.

5.1. Sistemas multiparamétricos

Lo que se busca con un sistema multiparamétrico es la eficiencia del proceso, además de tener instrumentos activos, que permitan cierto grado de automatización en su mantenimiento, mejor resolución en la medida y una fácil integración a sistemas de bus de campo.

Se evaluaron los parámetros a sensar, hallando que las variables prioritarias eran las descritas a continuación: Turbiedad, pH, Oxígeno disuelto, carga orgánica y Aluminio residual.

Se investigo en el mercado empresas proveedoras que manejaran la tecnología seleccionada para obtener los respectivos datos técnicos de los instrumentos; se encontraron dos fabricantes de este tipo de instrumentos, la marca Alemana WTW y la marca Norteamericana HACH, ambas cumplen los requerimientos trazados pero poseen marcadas diferencias en su desempeño y distribución.

Sistema multiparamétrico marca WTW.



Fig. 2. Sistema IQ Sensor Net.

Se caracteriza por tener un bus propio (Protocolo propio), tener sensores digitales y un controlador para el sistema. La red de sensores se llama IQ Sensor Net y el sistema a utilizar es el 2020 (Fig. 2), este sistema posee un solo controlador, con capacidad de controlar hasta 20 parámetros de medición y quien será el responsable de toda la comunicación dentro del sistema, posee una pantalla móvil en el cual se puede ver todas las variables que se estén midiendo en todo el sistema, alimentación de los sensores y equipos a través del cable de red IQ sensor net, se puede integrar al sistema sensores de otras marcas por medio de los módulos de entradas análogas, los nuevos componentes son reconocidos automáticamente e integrados de forma inmediata por el sistema (Plug and Play). Cada sensor hace parte de un modulo de ramificación (MIQ/JB "Junction Box), estos módulos tienen capacidad para dos sensores, en el caso de que haya mas sensores, se puede adicionar un modulo de ramificación colocándolo encima del otro, se puede agregar un máximo de tres módulos de ramificación. El controlador del sistema permite integrarse a redes de nivel superior a través de una interfase de bus de campo PROFIBUS DP.

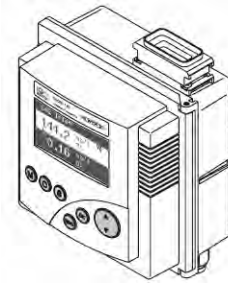


Fig. 3. Modulo controlador del Sistema 182.

Debido a la ubicación geográfica del Desarenador (2km fuera de la planta) y la necesidad de medir el nivel de turbiedad del agua en este lugar, se planteó el uso de un sistema de menor categoría que será enlazado vía radio al bus de campo de la planta. El sistema 182 (Fig. 3) cuenta con la capacidad de recibir dos señales de medida de sensores y una interfase de bus de campo PROFIBUS DP.

A continuación (Fig. 4) se esboza la distribución jerárquica de los equipos usados con esta tecnología.

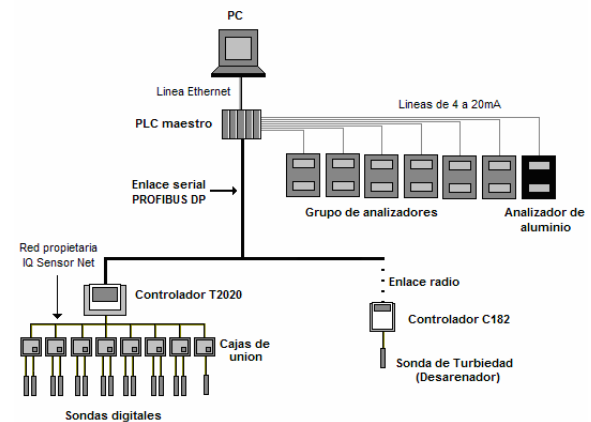


Fig. 4. Distribución jerárquica de equipos WTW.

Sistema multiparamétrico marca HACH.

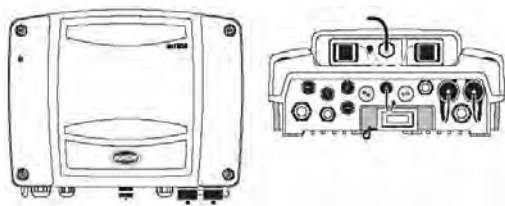


Fig. 5. Modulo controlador SC 1000.

Este sistema tiene la característica de tener un módulo sonda SC 1000 (Fig. 5) que controla hasta ocho sensores digitales simultáneamente en cualquier combinación específica, el controlador reconoce automáticamente los nuevos sensores (Plug and Play), tiene un módulo de pantalla portátil que muestra los datos de todos los sensores de la red en medidas y gráficos; este sistema tiene la facilidad de integrar sensores existentes mediante tarjetas de ampliación, tiene módulos de entradas y salidas analógicas de 4 – 20mA, dispone de tarjetas de bus de campo compatibles con los protocolos MODBUS RTU y PROFIBUS DP.

El sistema SC1000 se comunica con sus sondas a través del protocolo de bus de campo seleccionado, en el caso de nuestro diseño PROFIBUS DP. Tiene la capacidad de comunicarse con otros módulos SC1000 y compartir información a través del bus de campo, permitiendo de igual forma acoplar pantallas móviles en los controladores. También cuenta con la capacidad de realizar tareas de control típico como funciones P, PI y PID.

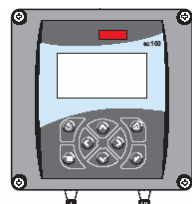


Fig. 6. Controlador SC100.

Al igual que con el sistema de WTW, se requiere instalar un controlador de menor capacidad para recolectar la información de la Turbiedad del agua en el desarenador. Se utilizara el controlador Sc100 (Fig. 6) que puede manejar un máximo de dos sondas digitales, dos salidas análogas, tres salidas de relé, interfase PROFIBUS DP y trae integrada la pantalla

al controlador. Este equipo se integrara al bus de campo de la Planta de Río Cauca a través de un enlace radio.

A diferencia de las sondas que maneja el sistema WTW, HACH posee una avanzada sonda de carga orgánica que entrega el nivel de coliformes fecales presentes en el agua usando métodos directos para la medida. A continuación (Fig. 7) se esboza la distribución jerárquica de los equipos usados con HACH.

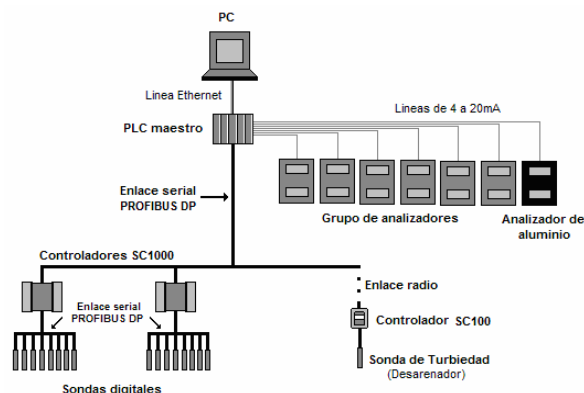


Fig. 7. Distribución jerárquica de equipos HACH.

5.2. Instrumentación complementaria al proyecto

PLC maestro de red PROFIBUS-DP con entradas análogas.

Este dispositivo tiene una función muy importante dentro el proyecto, ya que se encarga de recibir toda la información de las variables que están siendo sensadas en el proceso y las envía a un PC para que este por medio del programa SCADA instalado, visualice todas las variables medidas en el proceso.

Al PLC será acoplado un módulo de entradas análogas que permitirá integrar el analizador de aluminio residual (Equipo propuesto) y los equipos existentes que se encuentran sensando variables químicas. Al igual que el módulo análogo, se acoplara un módulo Ethernet (Menos en el PLC ABB que tiene la interfaz integrada) que permitirá servir de interfase entre el PLC y el Computador, al igual que admitirá integrar el equipo a una red Ethernet futura con equipos industriales.

En el mercado se investigaron varias alternativas para los propósitos requeridos y se encontraron las

siguientes marcas que cumplen con ellos:

- PLC ABB (AC 800M).
- PLC Allen Bradley (Controllogix).
- PLC Siemens (S7-300).
- PLC Schneider (Modicom TSX Premium).

(Véase tabla 15 de trabajo final).

Radios propuestos

Debido a los costos que implicaría crear una conexión alambrada entre el controlador que se ubicará en el desarenador (Puerto Mallarino) y el bus de campo que enlaza los equipos de la planta (Barrio la Base), se buscó la creación de un enlace inalámbrico que permitiera a través del mismo protocolo, transferir el nivel de turbiedad del agua medido en el desarenador a la red de datos de la planta. El equipo a utilizar debía cumplir con algunas características especiales como: Poseer un protocolo transparente que le permitiera enlazar el controlador al bus de campo, cubrir una distancia mayor a 2km en su señal, poseer una interfaz RS-485, transmitir en banda libre y ser ergonómico. En una investigación del mercado, se encontró que los equipos más apropiados para suplir estas tareas eran los Radio Modem, los cuales cumplen los requerimientos planteados. Los siguientes Radio Modem (Fig. 8 – Fig. 9) por su costos y desempeño son los más apropiados para el radio enlace trazado.



Fig. 8. Radio Modem 9XStream – 192.



Fig. 9. Radio Modem ELPRO 905 U-D.

Analizador de aluminio.



Fig. 10. Analizador de Aluminio residual Aztec serie 1000.

Este analizador (Fig. 10) tiene como función determinar la cantidad de aluminio residual que se encuentra en el agua que es suministrada a la red pública, con el objetivo de controlar la cantidad suministrada de sulfato de aluminio en la Cadíca.

El valor admisible que puede entregar la planta a la red de distribución es de 0.2 mg/L de aluminio, reglamentados por el decreto 475 de 1998 y estándares internacionales de la O.M.S. La ubicación de este dispositivo es junto a los ya instalados en la parte anterior del edificio central y se integrará al sistema de información por medio de la salida análoga que posee; esta salida es llevada directamente al módulo de entradas análogas del PLC maestro.

6. CONCLUSIONES

En un país donde en las últimas dos décadas la globalización ha sido gestora de muchos cambios en los procesos de producción, con la entrada de capitales y empresas al tomar vigencia el TLC (Tratado de Libre Comercio), se hace necesario implementar cadenas productivas estandarizadas y más eficientes, que permitan ser competitivos en el plano local y nacional.

Creando procesos más eficientes en la producción de Agua potable, se logrará disminuir los costos que acarrea el servicio para los usuarios finales.

Implementando tecnología que permita facilitar las tareas críticas realizadas por los operadores de la

Planta de Acueducto en los procesos de producción de agua potable, se puede llegar a desarrollar nuevas etapas de tratamiento que garanticen un agua más pura.

Utilizando plataformas de comunicación que permitan enlazar distintas tecnologías, permitirá aprovechar las principales características de cada dispositivo usado, sin necesidad de casarse con todo un sistema o una marca.

PROFIBUS DP como plataforma de comunicación y bus de campo, permitirá lograr un gran desempeño en la centralización de la información y la implementación de una estructura de control distribuido. Logrará un ahorro sustancial en el cableado necesario para enlazar los dispositivos del sistema, y permitirá crear una estructura organizacional a través de la jerarquización de las comunicaciones.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MOGOLA LAPEÑA, Miguel. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Barcelona (España), Marcombo Boixareu editores, 1989.

RODRÍGUEZ PEÑA, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. (1ª edición), Santa fe de Bogota D.C Oficina de publicaciones, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995.

R. SCHULZ, Christopher y A. OKUN, Daniel. Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo. (1ª edición), México, D.F. Editorial LIMUSA, S.A. de C.V. 1990.

KIELY, Gerald. Ingeniería ambiental. VOL 2. Madrid (España). Editorial Mc Graw Hill. 1999.
KEMMER, Frank N. Manual del agua (tomo 1). México, D.F. Editorial Mc Graw Hill. 1988.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES. ICONTEC. Compendio tesis y otros trabajos de grado. 5ta Actualización. Santa fe de Bogota D.C. ICONTEC, 2002. 1-34 p.

Balcells, Joseph. ROMERAL, José Luís. Autómatas

programables. , Serie Mundo Electrónico, de Ediciones Marcombo.

Paginas principales de investigación para buses de campo

www.profibus.com

eya.swin.net

www.automatas.org/modbus/intr7.html

www.fieldbus.org.

LENNTech. Estándares de la calidad del agua potable. www.lenntech.com/español.html.

EMCALI ACUEDUCTO.

www.emcali.com.co/acueducto/index.html.

CAPITAL CONTROLS. Severn Trent Services

www.severntrentservices.com

MaxStream. Radio Modem

www.maxstream.net/helpdesk/download.php

ABB. Automation Inc.

www.abb.com/control

www.abb.com/automation

ELPRO Technologies.

www.elprotech.com

HACH LANGE.

www.hach.com

www.hach-lange.com

Wissenschaftlich Technische Werkstätten (WTW)

www.wtw.com

ProSoft Technology, Inc.

www.prosoft-technology.com

Rockwell Automation.

www.rockwellautomation.com

Schneider Automation Inc.

www.schneider-electric.com.co

USFilter Wallace & Tiernan Products.

www.wallaceandtiernan.usfilter.com

Siemens AG.

www.siemens.com/automation